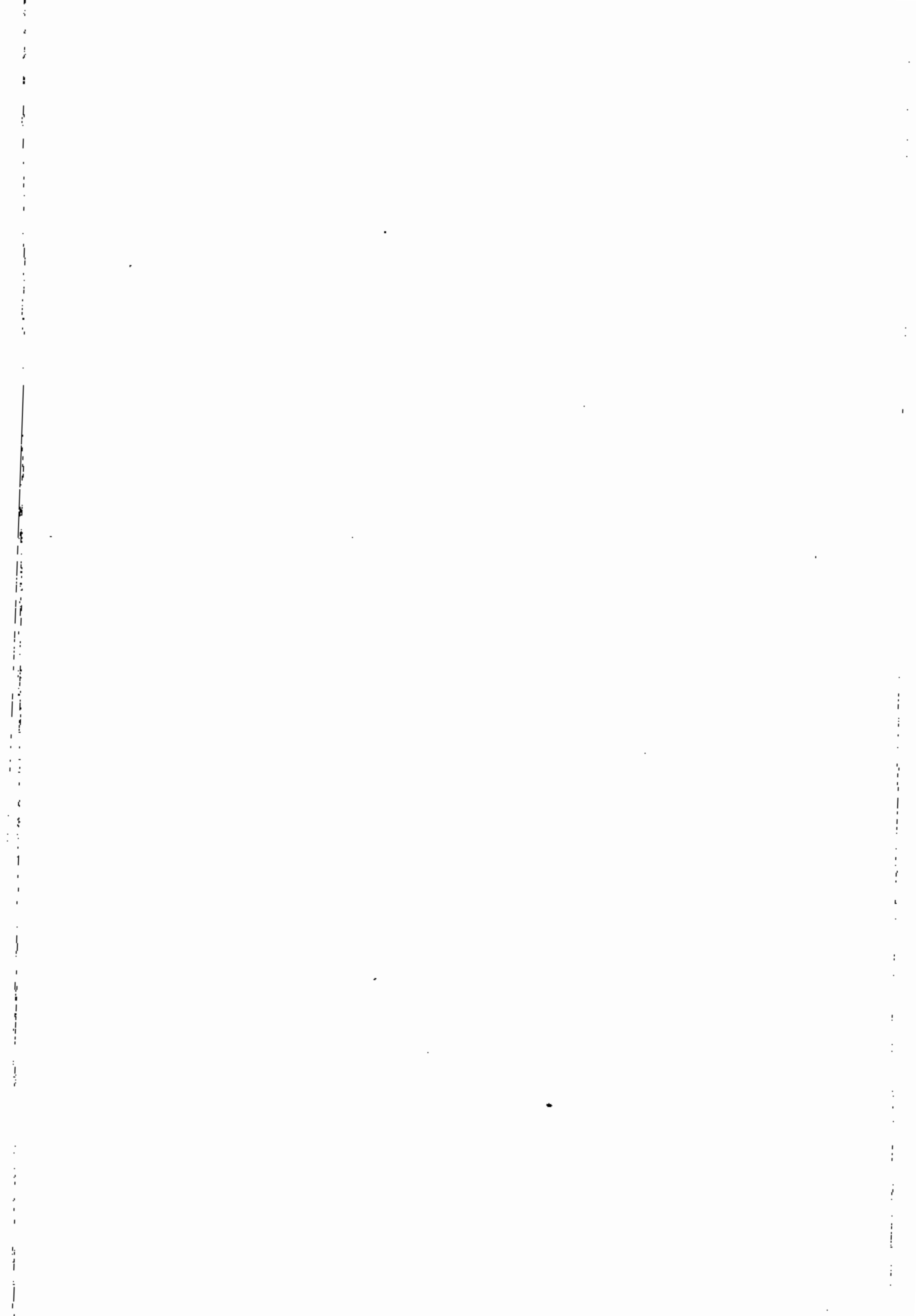

أساسيات تربية النبات



أساسيات تربية النبات

تأليف

الدكتور : أحمد عبد المنعم حسن

الأستاذ بكلية الزراعة – جامعة القاهرة

دكتوراه الفلسفة في تربية الخضر من جامعة كورنلّ

بالولايات المتحدة الأمريكية

والحائز على

جائزة الدولة التشجيعية في العلوم الزراعية

ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى

من جمهورية مصر العربية



الدار العربية للنشر والتوزيع

حقوق النشر

أساسيات تربية النبات

الطبعة الأولى
أكتوبر ١٩٩١

ISBN 977 - 258 - 013-6

رقم الايداع : ٧٣٩٢ / ١٩٩١

٣٢ ش عباس العقاد ـ مدينة نصر ـ القاهرة

ت : ٢٦٢٣٣٧٧ ـ ٢٦٢٥١٥٢

مقدمة الناشر

يتزايد الاهتمام باللغة العربية فى بلادنا يومًا بعد يوم ، ولاشك أنه فى الغد القريب ستستفيد اللغة العربية هيبتها التى طالما امتهنت وأذلت من أبنائها وغير أبنائها ، ولا ريب فى أن إذلال لغة أية أمة من الأمم هو إذلال ثقافى وفكرى للأمة نفسها ، الأمر الذى يتطلب تضافر جهود أبناء الأمة رجالًا ونساءً ، طلابًا وطالبات ، علماء ومثقفين ، مفكرين وسياسيين فى سبيل جعل لغة العروبة تحتل مكانتها اللائقة التى اعترف المجتمع الدولى بها لغة عمل فى منظمة الأمم المتحدة ومؤسساتها فى أنحاء العالم ؛ لأنها لغة أمة ذات حضارة عريقة استوعبت — فيما مضى — علوم الأمم الأخرى ، وصهرتها فى بوتقتها اللغوية والفكرية ؛ فكانت لغة العلوم والآداب ، ولغة الفكر والكتابة والمخاطبة .

إن الفضل فى التقدم العلمى الذى تنعم به دول أوروبا اليوم يرجع فى واقعه إلى الصحوة العلمية فى الترجمة التى عاشتها فى القرون الوسطى . فقد كان المرجع الوحيد للعلوم الطبية والعلمية والاجتماعية هو الكتب المترجمة عن العربية لابن سينا وابن الهيثم والفارابى وابن خلدون وغيرهم من عمالقة العرب . ولم ينكر الأوروبيون ذلك ، بل يسجل تاريخهم ما ترجموه عن حضارة الفراعنة والعرب والإغريق ، وهذا يشهد بأن اللغة العربية كانت مطواعة للعلم والتدريس والتأليف ، وأنها قادرة على التعبير عن متطلبات الحياة وما يستجد من علوم ، وأن غيرها ليس بأدق منها ، ولا أقدر على التعبير . ولكن ما أصاب الأمة من مصائب وجمود بدأ مع عصر الاستعمار التركى ، ثم البريطانى والفرنسى ، عاق اللغة من النمو والتطور ، وأبعدها عن العلم والحضارة ، ولكن عندما أحس العرب بأن حياتهم لابد من أن تتغير ، وأن جمودهم لابد أن تدب فيه الحياة ، اندفع الرواد من اللغويين والأدباء والعلماء فى إنماء اللغة وتطويرها ، حتى أن مدرسة قصر العينى فى القاهرة ، والجامعة الأمريكية فى بيروت درَّستا الطب بالعربية أول إنشائهما . ولو تصفحنا الكتب التى ألفت أو تُرجمت يوم كان الطب يدرس فيها باللغة العربية لوجدناها كتبًا ممتازة لا تقل جودة عن أمثالها من كتب الغرب فى ذلك الحين ، سواء فى الطبع ، أو حسن التعبير ، أو براعة الإيضاح ، ولكن هذين المعهدين تنكرا للغة العربية فيما بعد ، وسادت لغة المستعمر ، وفرضت على أبناء الأمة فرضًا ، إذ رأى الأجنبى أن فى خنق اللغة مجالًا لعرقلة تقدم الأمة العربية . وبالرغم من المقاومة العنيفة التى قابلها ، إلا أنه كان بين المواطنين صنائع سبقوا الأجنبى فيما يتطلع إليه ، فتفننوا فى أساليب التملق له اكتسابًا لمرضاته ، ورجال تأثروا بحملات المستعمر الظالمة ، يشككون فى قدرة اللغة العربية على استيعاب الحضارة الجديدة ، وغاب عنهم ما قاله الحاكم الفرنسى لجيشه الزاحف إلى الجزائر : « علموا لغتنا وانشروها حتى نحكم الجزائر ، فإذا حكمت لغتنا الجزائر ، فقد حكمناها حقيقة . »

فهل لى أن أوجه نداءً إلى جميع حكومات الدول العربية بأن تبادر ــ فى أسرع وقت ممكن ــ إلى اتخاذ التدابير ، والوسائل الكفيلة باستعمال اللغة العربية لغة تدريس فى جميع مراحل التعليم العام ، والمهنى ، والجامعى ، مع العناية الكافية باللغات الأجنبية فى مختلف مراحل التعليم لتكون وسيلة الاطلاع على تطور العلم والثقافة والانفتاح على العالم . وكلنا ثقة من إيمان العلماء والأساتذة بالتعريب ، نظراً لأن استعمال اللغة القومية فى التدريس ييسر على الطالب سرعة الفهم دون عائق لغوى ، وبذلك تزداد حصيلته الدراسية ، ويُرتفع بمستواه العلمى ، وذلك يعتبر تأصيلًا للفكر العلمى فى البلاد ، وتمكيناً للغة القومية من الازدهار والقيام بدورها فى التعبير عن حاجات المجتمع ، وألفاظ ومصطلحات الحضارة والعلوم .

ولا يغيب عن حكومتنا العربية أن حركة التعريب تسير متباطئة ، أو تكاد تتوقف ، بل تُحارب أحيانًا ممن يشغلون بعض الوظائف القيادية فى سلك التعليم والجامعات ، ممن ترك الاستعمار فى نفوسهم عُقدًا وأمراضًا ، رغم أنهم يعلمون أن جامعات إسرائيل قد ترجمت العلوم إلى اللغة العبرية ، وعدد من يتخاطب بها فى العالم لا يزيد على خمسة عشر مليون يهوديًا ، كما أنه من خلال زياراتى لبعض الدول ، واطلاعى وجدت كل أمة من الأمم تدرس بلغتها القومية مختلف فروع العلوم والآداب والتقنية ، كاليابان ، وإسبانيا ، ودول أمريكا اللاتينية ، ولم تشكك أمة من هذه الأمم فى قدرة لغتها على تغطية العلوم الحديثة ، فهل أمة العرب أقل شأنًا من غيرها ؟!

وأخيرًا .. وتمشيًا مع أهداف الدار العربية للنشر والتوزيع ، وتحقيقًا لأغراضها فى تدعيم الإنتاج العلمى ، وتشجيع العلماء والباحثين فى إعادة مناهج التفكير العلمى وطرائقه إلى رحاب لغتنا الشريفة ، تقوم الدار بنشر هذا الكتاب المتميز الذى يعتبر واحدًا من ضمن ما نشرته – وستقوم بنشره – الدار من الكتب العربية التى قام بتأليفها نخبة ممتازة من أساتذة الجامعات المصرية والعربية المختلفة .

وبهذا ... ننفذ عهدًا قطعناه على المُضِىّ قُدُمًا فيما أردناه من خدمة لغة الوحى ، وفيما أراده الله تعالى لنا من جهاد فيها .

وقد صدق الله العظيم حينما قال فى كتابه الكريم ﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ، وَسَتُرَدُّونَ إِلَى عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ ﴾ .

محمد دربالة

الدار العربية للنشر والتوزيع

المقدمة

(الحمد لله الذى هدانا لهذا ، وما كنا لنهتدى لولا أن هدانا الله)

بعون الله وفضله .. أمكن إنجاز هذا المؤلف الذى يعد باكورة إنتاجى فى مجال تربية النبات ، والذى أتقدم به إلي المكتبة العربية ؛ ليكون - بإذن الله - عوناً للدراسين والباحثين فى هذا المجال . لقد أُعدَّ هذا الكتاب ؛ ليكون مرجعاً شاملاً للأسس العامة لتربية النبات ، وليكون ملبياً لاحتياجات كل من طالب مرحلة البكالوريس ، وطالب الدراسات العليا فيما يتعلق بأساسيات التربية - التقليدية منها والمتقدمة - على حد سواء - دون التطرق إلى تطبيقات تلك الأسس فى مختلف أوجه تحسين النباتات ، التى تعد فروعاً أخرى لهذا العلم .

يشتمل الكتاب على عشرين فصلاً ، موزعة على أربعة أقسام . يتضمن القسم الأول خمسة فصول ، تتناول القواعد العامة والقواعد الوراثية التي تعتمد عليها تربية النبات ، وهي ما درج على تسميتها " قواعد التربية " ويتضمن القسم الثاني أحد عشر فصلاً ، تتناول كافة طرق التربية ، متدرجة من أبسطها إلى أكثرها تقدماً ، وخصص منها ثلاثة فصول لطرق التربية غير التلقيدية ، وهي التربية بالطفرات ، والتضاعف ، والهجن النوعية . ويتضمن القسم الثالث فصلين ، خصصا لأساسيات مزارع الأنسجة ، وأوجه الإستفادة منها فى تربية النبات . وقد أعدت المادة العلمية في هذا القسم بحيث يمكن استيعابها ، دونما حاجة إلى خلفية أخري غير الخلفية النباتية العامة التى يحتاج إليها مربى النبات . وكانت خاتمة هذا القسم نبذة عن الهندسة الوراثية : ماهي ؟ وما دورها المرتقب في مجال التربية ؟ ، أهي - فعلاً - بديل لتربية النبات ، أم أنها مجرد أداة فى يد المربى ؟ أما القسم الرابع .. فقد تضمن فصلين ، خصصا للجوانب العملية والإجرائية فى تربية النبات ، والتى

تعد مكملة لموضوع الكتاب .

وقد اعتمد تأليف هذا الكتاب علي مئات المراجع ، التي لخص المؤلف بعض أجزائها، واقتبس منها كثيراً من الأفكار ، ونقل عنها عديداً من الأشكال ، ولقد أشير إلى جميع هذه المصادر في متن الكتاب ، وذكرت تفصيلاً في نهايته . ولئن كانت بعض المصادر قد تكررت الإشارة إليها عدة مرات في فصول مختلفة من هذا الكتاب .. فإن ذلك يعني أن إسهامها كان بقدر أكبر من غيرها . وأرجو أن يكون هذا التنويه شكراً وامتناناً لمؤلفى جميع هذه المصادر وناشريها .

وأخيراً فلا يسعنى – مع صدور هذا الكتاب – إلاّ أن أتقدم بالشكر والتقدير إلى الدار العربية للنشر والتوزيع ، ومديرها العام الأستاذ / محمد دربالة . وجميع العاملين بها على جهودهم المخلصة من أجل إخراج هذا الكتاب علي أفضل وجه .

جدول المحتويات

القسم الأول : القواعد العامة والوراثية

الفصل الأول : تعريف بعلم تربية النبات

رقم الصفحة

الفصل الثانى : طرق التكاثر وأهميتها فى تربية النبات

الفصل الثالث : الأساس الوراثى للعشائر النباتية

الفصل الرابع : وراثة الصفات الكمية

الفصل الخامس : جمع الجيرمبلازم وتقييمه وإكثاره وحفظه

القسم الثاني : طرق التربية

الفصل السادس : التحسين الوراثى بالانتخاب

الفصل السابع : طرق التربية بالانتخاب المباشر

الفصل الثامن : الظواهر المستعملة فى إنتاج الهجن : العقم الذكري وعدم التوافق

الفصل التاسع : التربية الداخلية وقوة الهجين

الفصل العاشر : الأصناف الهجين والأصناف التركيبية

الفصل الحادى عشر : طرق التربية بالتهجين والانتخاب

الفصل الثانى عشر : التهجين الرجعى

الفصل الثالث عشر : الطفرات

الفصل الرابع عشر : التضاعف

الفصل الخامس عشر : الهجن النوعية

الفصل السادس عشر : القواعد المتعلقة بتربية النباتات الخضرية التكاثر

القسم الثالث : زراعة الأنسجة وأوجه الاستفادة منها في تربية النباتات

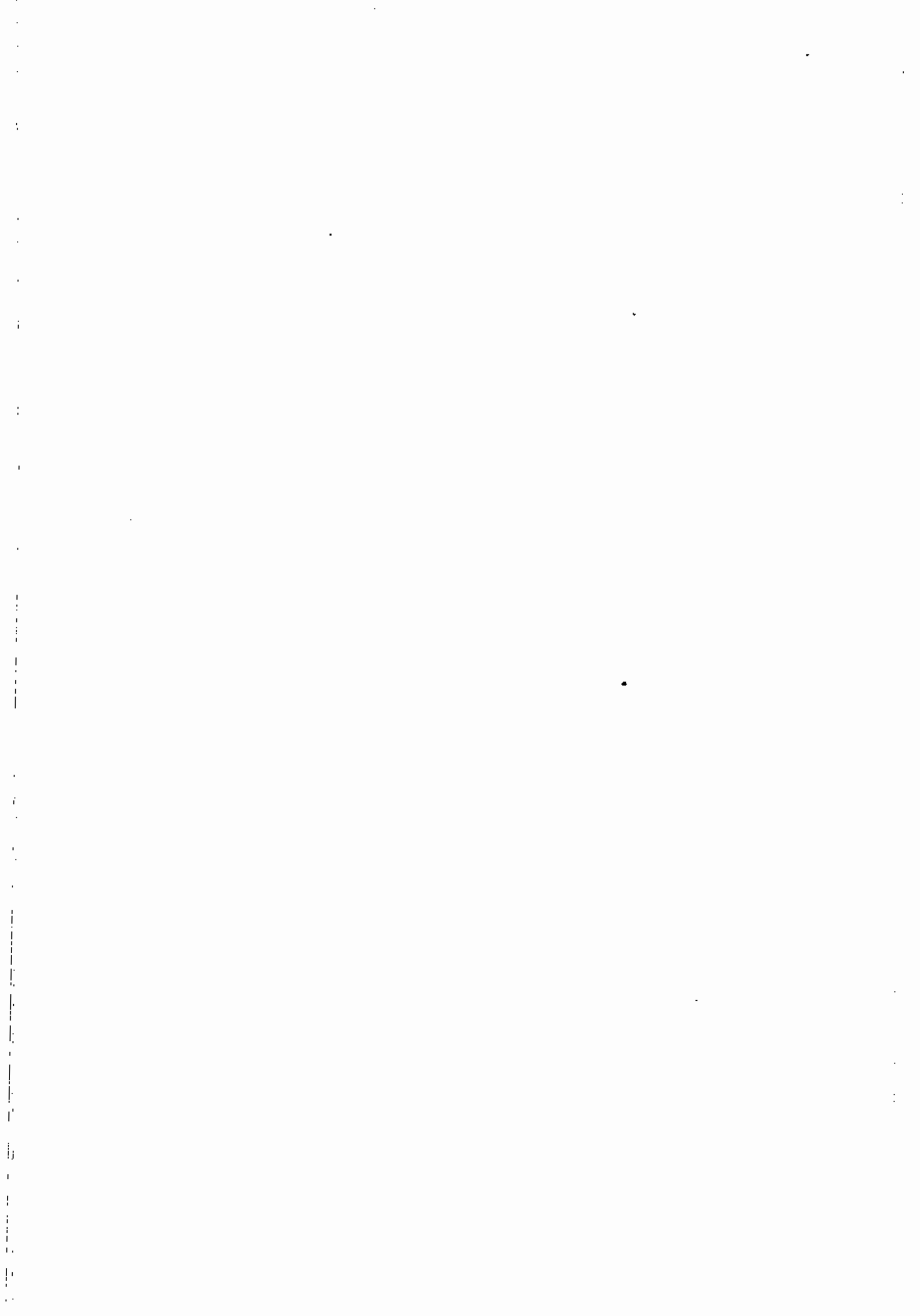
الفصل السابع عشر : زراعة الأنسجة

الفصل الثامن عشر : أوجه الاستفادة من مزارع الأنسجة في تربية النبات

القسم الرابع : الجوانب العملية والإجرائية في تربية النبات

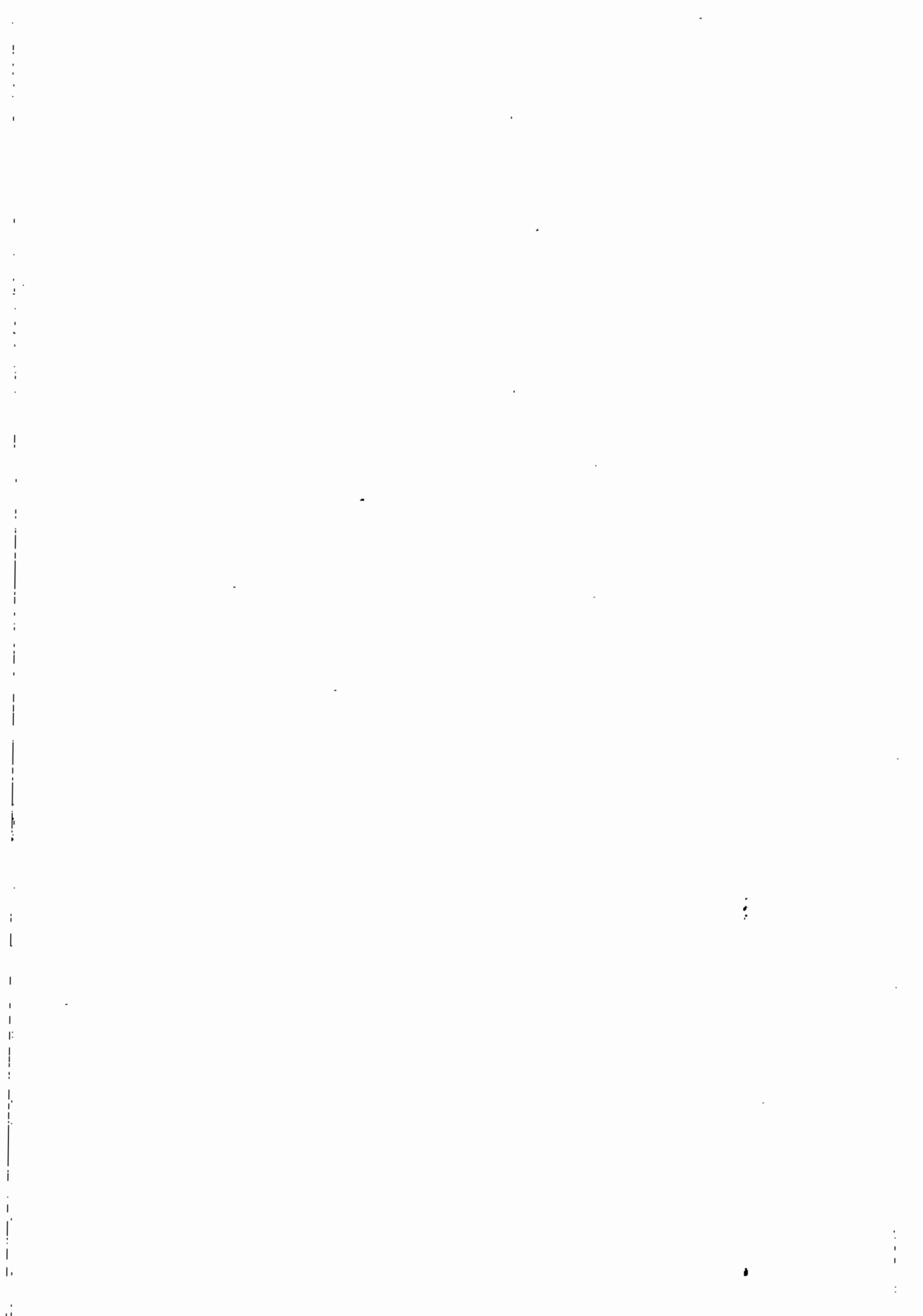
الفصل التاسع عشر : أساسيات وطرق إجراء التلقيحات فى النباتات

الفصل العشرون : تقييم وتسجيل الأصناف الجديدة



القسم الأول

القواعد العامة والوراثية



الفصل الأول

تعريف بعلم تربية النبات

تعريف تربية النبات

يُعرَف علم تربية النبات Plant Breeding بأنه : العلم الذي يمكن الإنسان من تحسين نباتاته المزروعة ، واستنباط أصناف وسلالات جديدة ، تتلاءم مع احتياجات منتجي المحصول ، ومستهلكيه ، والقائمين على تصنيعه . فيهمّ المنتج أن تكون الأصناف الجديدة عالية المحصول ، ومقاومة للآفات الهامة ، ومتلائمة مع الاتجاهات الجديدة في العمليات الإنتاجية التى تطبق لدواع اقتصادية ، وأن تكون أكثر تأقلما على الظروف البيئية السائدة فى منطقة الإنتاج ، ومن البديهى أن يكون للصنف الجديد صفات جودة مقبولة لدى القاعدة العريضة من المستهلكين ؛ من حيث الشكل ، والحجم ، واللون ، والطعم ، والقيمة الغذائية ... إلخ . وتتنوع رغبات المستهلك بالنسبة لهذه الصفات من دولة إلى أخرى ، وداخل الدولة الواحدة فى بعض الأحيان . كما يجب أن تتوفر فى الصنف الجديد الصفات التى تجعله صالحاً لأغراض التصنيع ؛ ليمكن امتصاص فائض الإنتاج ، ولكن .. نظراً للفارق الكبير بين متطلبات الاستهلاك الطازج ، ومتطلبات التصنيع .. فإن الاتجاه الغالب هو الاتجاه نحو إنتاج أصناف خاصة بالتصنيع ، تختلف مواصفاتها من محصول إلى آخر ؛ فأصناف طماطم التصنيع مثلا .. يجب أن تكون ذات نضج مُركز ؛ ليمكن قطف المحصول مرة واحدة ، أو حصاده آلياً ؛ بغرض خفض نفقات الحصاد ، ويجب أن تكون ثمارها عالية الصلابة ؛ ليمكنها البقاء على النبات بحالة جيدة – وهى حمراء ناضجة – لمدة أسبوعين أو

ثلاثة ، لحين نضج بقية المحصول ، ولمكن نقلها إلى مصانع الحفظ فى شاحنات كبيرة ، دونما حاجة إلى استعمال العبوات الصغيرة . كما يجب أن تكون ثمارها مربعة دائرية square round ، أو بيضاوية الشكل ، أو كمثرية الشكل ؛ لكى تتحمل الضغط الواقع عليها ، وأن تكون قليلة الحجرات ، حمراء قانية اللون ، ترتفع فيها نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية ، وأن يكون عصيرها عالى اللزوجة ، وألا يزيد رقمه الأيدروجينى (pH) على ٤,٠ .

أهمية علم تربية النبات

يعد علم تربية النبات الأساس الذى يعتمد عليه التوسع الرأسى فى الإنتاج الزراعى ، كما يؤمل عليه كثيراً فى التوسع الأفقى مستقبلاً ، وهما أمران ضروريان لتوفير الطلب المتزايد على الغذاء اللازم للجنس البشرى ، والحيوانات الزراعية ؛ ذلك لأن تعداد العالم يزيد بمعدل ٧٠-٩٠ مليون نسمة سنوياً ، ومن المتوقع أن يصل عدد سكان العالم إلى حوالى ٦ بليون نسمة بحلول عام ٢٠٠٠ ، كما يُتوقع أن يكون نحو ٨٠٪ من هذا العدد فى الدول النامية . ويعنى ذلك أن الزيادة المتوقعة فى الطلب على الغذاء نتيجة للزيادة فى تعداد سكان العالم تبلغ حوالى ٢٪ سنويا . وتوجد زيادة أخرى متوقعة فى طلب نوعيات أفضل من الغذاء ؛ نتيجة لتحسن مستوى المعيشة . وتقدر الزيادة الإجمالية المتوقعة فى الطلب على الغذاء بنحو ٣-٤٪ سنوياً . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Toenniessen (١٩٨٤) .

ولقد كان لتربية النبات فضل كبير فى التوسع الرأسى فى مجال الإنتاج النباتى ، كما أسهم بشكل جوهرى فى الحد من استعمال مبيدات الآفات، وخفض الحاجة إلى الأيدى العاملة اللازمة للعملية الإنتاجية ، وتقليل الفاقد بعد الحصاد . وقد تحقق ذلك من خلال الأصناف الجديدة المحسنة التى تتفوق فى صفاتها الاقتصادية الهامة ، خاصة فيما يتعلق بارتفاع محصولها كماً وكيفاً ، ومقاومتها للآفات ، وصلاحيتها للحصاد الآلى ، وتحملها عمليات التداول بعد الحصاد . وكان من نتيجة ذلك أن تحققت فى الدول المتقدمة زيادة كبيرة فى الإنتاج الزراعى ، مع نقص فى عدد المشتغلين بالزراعة ؛ ففى الولايات المتحدة مثلاً .. بلغ إجمالى العاملين بالزراعة فى عام ١٩٨٣ نحو ٣,٥ مليون فرد ، أى حوالى ١,٥٪ من الشعب الأمريكى آنذاك ، وأنتج كل منهم من الغذاء والكساء مايكفى ٧٩,١ فرداً ، منهم

٥٧,٦ فرداً داخل الولايات المتحدة ، و ٢١,٥ فرداً خارجها . وكان فى مقابل كل فرد يشتغل بالزراعة مباشرة نحو ٥-٦ أفراد آخرين يعملون فى مجالات أخرى ذات صلة بالزراعة ؛ مثل الشحن ، والتسويق ، والتصنيع .. إلخ (عن HortScience - العدد الثانى من المجلد الحادى والعشرين لعام ١٩٨٦) . ويمكن بدراسة الإحصائيات السابقة لذلك (يراجع Turk ١٩٦٤) الاستدلال على أن أرقام الإنتاج الزراعى فى زيادة مطردة ؛ فقد كان الفرد الواحد بالولايات المتحدة ينتج من الغذاء قبل عشرين عاماً خلت مايكفى ٣٠ فرداً فقط .

ولقد كان للتعاون الدولى فى مجال تربية النباتات وتحسينها فضل كبير فى إنقاذ البشرية من المجاعات التى كانت تهددها ، خاصة فى أمريكا اللاتينية ، ودول جنوب شرق آسيا ؛ من خلال ماأنتجته المعاهد والمؤسسات الدولية المتخصصة من أصناف جديدة محسنة ذات إنتاجية عالية . ويمكن الرجوع إلى Stakman وآخرين (١٩٦٧) ؛ للاطلاع على تفاصيل قصة تطوير الإنتاج الزراعى بالمكسيك بواسطة مؤسسة روكفلر ، وكيف عممت التجربة فى آسيا وأمريكا الجنوبية ، مع نبذة عن معهد بحوث الأرز الدولى ، الذى يقوم على أساس من التعاون بين مؤسستى فورد ، وروكفلر ، وهى قصة شائقة للغاية ، تعد مثلاً لما يمكن أن ينجزه الإنسان إذا ماتوفرت لديه الرغبة الصادقة فى العمل ، مع تذليل العوائق الإدارية والمادية من طريق الباحثين . كما استعرضت مؤسسة روكفلر The Rockefeller Foundation (١٩٦٦) إنجازاتها بالتعاون مع غيرها من المؤسسات فى مجال تربية وتحسين القمح ، والذرة ، والأرز ، والبطاطس ، والذرة الرفعية . ويعد Moseman (١٩٦٦) مرجعاً للتقدم الذى أحرزه التعاون الدولى فى مجال تربية النبات، ويسرد Thompson (١٩٧٢) موجزاً لإنجازات التعاون الدولى فى مجال تحسين إنتاجية القمح ، والأرز ، وفول الصويا ، مع نبذة عن المعاهد الدولية المتخصصة فى هذه المحاصيل . ولقد اعترف العالم بفضل تربية النبات فى توفير الغذاء للعالم ، بحصول عالم تربية النبات دكتور بورلاج N.E.Borlag على جائزة نوبل للسلام فى عام ١٩٧٠ ؛ بفضل جهوده فى المركز الدولى لتحسين إنتاج الذرة والقمح (CIMMYT) فى المكسيك ، التى تُوِّجت بإنتاج أصناف عالية الإنتاجية ، ومقاومة للأمراض من هذين المحصولين ، انتشرت زراعتها فى عدد كبير من دول العالم الثالث وأسهمت فى تجنب ويلات المجاعات فيها .

ويمكن الرجوع إلى Burton (١٩٨١) ؛ لمعرفة مزيد من التفاصيل عن بعض ماحققته تربية النبات للجنس البشرى فى مجال إنتاج الغذاء كماً وكيفاً .

أما عن دور تربية النبات فى مجال التوسع الأفقى فى الزراعة .. فهو دور تعقد عليه آمال كبيرة فى المستقبل القريب ؛ وذلك من خلال التوسع فى الرقعة الزراعية ؛ لتشمل الزراعة فى الأراضى العالية الملوحة ، والرى بالمياه المالحة ، واستغلال الصحارى الشاسعة المجاورة لسواحل البحار والمحيطات فى الزراعة ، مع الرى بمياه البحر مباشرة . ويعمل مربو النبات على تحقيق ذلك ؛ بإنتاج أصناف جديدة من المحاصيل الزراعية أكثر تحملاً للملوحة واستنباط نباتات محبة للملوحة Halophytes ، واستغلالها لصالح الإنسان ، إما بصورة مباشرة كغذاء له ، وإما بصورة غير مباشرة كغذاء لحيواناته ، وإما باستخلاص مركبات معينة منها (Toenniessen ١٩٨٤) .

علاقة تربية النبات بالعلوم الأخرى

تربية النبات كعلم ومهارة

يميل أغلب المشتغلين بتربية النبات إلى اعتبار أنها تجمع مابين العلوم Sciences ، والمهارات Arts (وهى ضرب من الفنون) ، وهم يؤيدون هذا الرأى بأن الإنسان الأول قام منذ أقدم العصور بتحسين نباتاته المزروعة ، وأن كثيراً من الهواة أنتجوا أصنافاً محسنة من بعض المحاصيل ، دون أدنى دراية بالقواعد الأساسية للوراثة ، التى لم يعرفها العالم إلا فى عام ١٩٠٠ ، حينما اكتشفت دراسات مندل . ولعل أبلغ الأمثلة على ذلك أصناف القمح التى أنتجها قدماء المصريين ، وأصناف الأرز التى أنتجها قدماء الصينيين ، وأصناف الذرة التى أنتجها الهنود الحمر ، وعديد من أصناف الفاصوليا الخضراء ، والبطاطس ، ونباتات الزينة التى أنتجها الهواة خلال القرن الماضى ، دون دراية بعلم الوراثة. وبهذا .. فإن تربية النبات بدأت كمهارة ولكنها أصبحت علماً قائماً بذاته ، بعد اكتشاف القواعد الأساسية للوراثة . ويتعين على المربى – لكى يتمكن من تحقيق أهدافه – أن يتبع الطريقة العلمية فى دراسته ، وأن يعتمد على علوم أخرى كثيرة ، سوف يرد ذكرها . ولايزال مربو النبات يستفيدون من كل تقدم فى العلوم الأخرى ؛ بتطويعها لخدمة أغراض التربية ، وكان آخرها التقدم الهائل الذى حدث فى العقدين الأخيرين فى علم زراعة الأنسجة والخلايا . وبالرغم

من كل التقدم العلمى .. فإن جانب المهارة فى تربية النبات يظل عاملا مهماً ، يؤثر فى قدرة المربى فى انتخاب النباتات ، وتقييم القيمة المحتملة للصفات غير الظاهرة ، والتعرف على الانعزالات الهامة ، وتخيل الصفات العامة للنبات المرغوب فيه ، والتنبؤ بالتغيرات فى رغبات منتجى المحصول ومستهلكيه، ومصنعيه ، وتوجيه برنامج التربية بما يسمح بتحقيق أهدافه على أكمل وجه ، فى أقصر فترة ممكنة .

العلوم ذات الصلة بتربية النبات

يتعين على مربى النبات أن يكون ملمًا بعدد من العلوم الأخرى التى تساعده على تحقيق أهدافه ، وهى كما يلى :

١- الوراثة والعلوم المتفرعة منها والمتصلة بها ؛ مثل علم الخلية ، والوراثة ، والوراثة السيتولوجية ، والوراثة الفسيولوجية ، والوراثة الكمية ، والتطور . وهى العلوم التى تقوم عليها الدعائم الأساسية لتربية النبات .

٢- علوم إنتاج المحاصيل الاقتصادية المختلفة ؛ مثل الخضر ، والفاكهة ، ومحاصيل الحقل ، والزهور ونباتات الزينة ، والنباتات الطبية والعطرية ، والغابات ؛ حتى يكون المربى على دراية بالمحصول الذى يعمل على تحسينه ، وبصفاته المهمة ، وطرق زراعته ، ومشاكل إنتاجه .

٣- علم فسيولوجيا النبات ؛ لكى يكون المربى على دراية بفسيولوجيا نمو وتطور النبات ، وبالأساس الفسيولوجى للصفات التى يرغب فى تحسينها .

٤- علوم الحشرات ، وأمراض النبات بفروعه المختلفة ، وهى لاغنى عنها فى حالات التربية لمقاومة الآفات التى تصيب المحصول .

٥- علوم النبات بفروعه المختلفة من تقسيم ، وتشريح ، ومورفولوجى ؛ لأن الفهم الصحيح للتركيب التشريحى والمورفولوجى للنبات ، ووضعه التقسيمى الصحيح .. يساعد المربى على تحقيق أهداف التربية بيسر وسهولة .

٦- علم زراعة الأنسجة والخلايا ؛ لما له من استخدامات كثيرة مهمة فى مجال تربية النبات .

٧- علم الهندسة الوراثية الذى يؤمل منه كأداة ووسيلة مهمة فى مجال تربية النبات .

٨- علم الإحصاء وتصميم التجارب ؛ لكى يتمكن المربى من اختبار الأصناف الجديدة

وتقييمها تحت ظروف الحقل قبل التوصية بإدخالها فى الزراعة .

يتضح مما تقدم أن مربى النبات يجب أن يكون على دراية بعلوم أخرى كثيرة ، ونظراً لأنه لايمكنه الإلمام بكل دقائق هذه العلوم وتفاصيلها ؛ لذا فقد ظهرت الحاجة إلى التعاون والتخصص فى مجالات تربية النبات ؛ فنجد – مثلا – أن كثيراً من مربى النباتات يتعاونون مع المتخصصين فى علوم أخري (مثل أمراض النبات ، والحشرات ، وفسيولوجيا النبات ، والميكنة الزراعية ... إلخ) ؛ لتحقيق أهداف تربية معينة . ويجب ألا يقتصر دور المربى فى هذه الحالة على إجراء التلقيحات ، بل يجب عليه أن يكون ملمًا بالأمر كله ؛ حتى يمكنه توجيه برنامج التربية ، ومن هنا .. كانت الحاجة إلى التخصص فى جوانب معينة من التربية ؛ مثل تربية الخضر لصلاحيتها للحصاد الآلى ، أو تربية المحاصيل الحقلية لتحمل الظروف البيئية القاسية ، أو تربية الفاكهة لمقاومتها للأمراض ... إلخ .

العلاقة بين تربية النبات والتطور

توجد علاقة وثيقة بين تربية النبات والتطور ، إلا أنهما علمان مختلفان يجب عدم الخلط بينهما ؛ فالتطور يحدث – تلقائيًا – فى الطبيعة من خلال الطفرات التى تحدث بصورة طبيعية ، والانعزالات الوراثية التى تحدث نتيجة للتلقيح الخلطى الطبيعى بين النباتات المختلفة وراثيًا بعضها ببعض ، سواء أكانت من نفس النوع ، أم من أنواع مختلفة، وما يتبعهما من انتخاب طبيعى للطرز الوراثية الأكثر قدرة على التكاثر ، والبقاء تحت الظروف الطبيعية . وغالباً ماتكون هذه الطرز بعيدة – كل البعد – عن أن تصلح للزراعة ، كما أن كثيراً من الصفات التى تعمل الطبيعة على الإبقاء عليها لاتناسب الزراعة التجارية . ومن أمثلة الصفات التى تحافظ عليها الطبيعة ، ولاتناسب الإنسان .. مايلى (عن Hawkes ١٩٨٣):

١– البذور الصغيرة ؛ لأن النبات الذى تكون بذوره صغيرة الحجم ينتج – عادة – عدداً أكبر من البذور ، ويكون – من ثَمَّ– أكثر قدرة على التكاثر والبقاء .

٢– إنبات البذور البطئ وغير المتجانس ؛ لأن هذه الصفة تعطى النبات الفرصة لأن تنبت بذوره على مدى فترة زمنية طويلة ، فتزيد فرصته للبقاء مما لو أنبتت كل بذوره مرة واحدة ثم تعرضت البادرات الصغيرة لظروف بيئية قاسية ، يمكن أن تؤدى إلى موتها .

٣- الثمار المنشقة وهى صفة تساعد على انتثار البذور على مساحة كبيرة من الأرض؛ مما يعطى فرصة أكبر لحفظ النوع .

٤- التراكيب الدفاعية ؛ كالشعيرات الغزيرة والأشواك التى تحمى النبات من الآفات المختلفة .

أما علم تربية النبات .. فهو كما ذكر N.Vavilov : «تطور توجهه رغبة الإنسان وقدرته» ، فهو - أى الإنسان - يعمل على تحسين النباتات الاقتصادية وتطويرها (وليس كل الأنواع كما فى التطور) ؛ لتصبح أكثر ملاءمة للزراعة والاستهلاك ، ويتحكم فى ذلك نوعية الصفات التى يرغب فيها الإنسان ، وقدرته على جمعها فى تركيب وراثى واحد . ويستفيد الإنسان عند قيامه ببرنامج التربية لتطوير نباتاته الاقتصادية من صفات كثيرة مهمة ، تعمل الطبيعة على المحافظة عليها دائمًا ؛ لارتباطها بالقدرة على البقاء فى البيئة التى تتوطن فيها هذه النباتات ؛ مثل القدرة على تحمل ظروف الحرارة المنخفضة ، أو الحرارة العالية ، والرطوبة الزائدة ، والجفاف ، والملوحة ، والمقاومة للآفات الهامة المنتشرة فى المنطقة ... إلخ . ويتم ذلك من خلال جمع مربى النبات للطرز النباتية المنتشرة فى أماكن نشأة الأنواع النباتية المختلفة ، وتطورها .

وبالإضافة إلى ماتقدم .. فإن مربى النبات يهتم بصفات أخرى ، لاعلاقة لها بالقدرة على البقاء تحت الظروف الطبيعية ؛ مثل النمو الخضرى الغزير ، والألوان غير العادية من الثمار والبذور ، والصفات التى تجعل المحصول مستساغاً عند الأكل ... إلخ ، كما يهتم بصفات لاتتوافق مع متطلبات الانتخاب الطبيعى ؛ مثل الثمار البكرية ، والنمو الحولى إلخ (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) . ولمزيدٍ من التفاصيل عن موضوع التطور والتأقلم ومنشأ الأنواع .. يمكن الرجوع إلى Darwin (١٨٥٩) ، و Wallace & Srb (١٩٦٤) ، و Ehrlich و آخرين (١٩٧٤) ، و Dobzhansky وآخرين (١٩٧٧) ، وغيرها من الكتب المتخصصة .

تاريخ تربية النبات

يعد مقال Smith (١٩٦٦) من أفضل ماكتب فى موضوع تاريخ تربية النبات ، ونلخص عنه - فيما يلى - أهم الإنجازات فى هذا المجال ، مسلسلة حسب تاريخ حدوثها (علما بأن

المرجع الأصلى يذكر كثيراً من الإنجازات والأحداث الأخرى الهامة) :

١- لاحظ Millington – فى عام ١٦٧٦ - أن المتوك تقوم بعمل أعضاء التذكير فى النبات، واقترح Grew – فى العام ذاته – دور البويضات وحبوب اللقاح فى التكاثر .

٢- أوضح Camerarius – فى عام ١٦٩٤ – دور الجنس فى النباتات ، واقترح فكرة التلقيحات .

٣- لاحظ Mather – فى عام ١٧١٦ – تأثير التلقيح الخلطى على نبات الذرة .

٤- يرجع الفضل فى إنتاج أول نبات هجين إلى Fairchild ، فى عام ١٧١٩ .

٥- أنشئت شركة فيلموران Vilmorin للبذور فى فرنسا فى عام ١٧٢٧ ، ويرجع إليها الفضل فى إحداث تقدم كبير فى تربية النبات .

٦- نشرت أهم دراسات Linneaus فى أعــوام ١٧٣٥ ، و ١٧٣٧ ، و١٧٥١ ، و ١٧٥٣ وهى التى أرست القواعد الأساسية لتقسيم النباتات .

٧- نشر Kolreuter أبحاثه فى عامى ١٧٦١ ، و ١٧٦٦ ، وقد أوضح فيها ظاهرة العقم فى التهجين بين النوعين *Nicotiana paniculata* ، و *N.rustica* ، وتوصل منها إلى أن التهجين لايكون ناجحاً إلا إذا كان بين النباتات القريبة من بعضها . وقد وصف Kolreuter حبوب اللقاح ، ويرجع إليه الفضل فى اكتشاف طبيعة عملية التلقيح ، ودور الهواء والحشرات فيها .

٨- نشرت أبحاث Lamarck عن وراثة الصفات المكتسبة فى عام ١٨٠١ .

٩- لاحظ Knight – فى عام ١٨٢٣ – وجود اختلافات بين أصناف القمح فى شدة إصابتها بمرض الصدأ ، وذكر احتمال توريث المقاومة لهذا المرض ، كما أجرى أول تلقيح بين أصناف القمح ، ويرجع إليه الفضل فى تعرف أن الأبوين يشتركان معًا فى تكوين الجيل الأول وتحديد صفاته فى البسلة ، وأن الانعزالات فى الصفات تظهر فى الجيل الثانى .

١٠- استعمل Sargaret اللفظ سائد dominat لأول مرة فى عام ١٨٢٦ .

١١- تتبع Amici – فى عــام ١٨٣٠ – ، و Hofmeister – فى عام ١٨٤٩ – مسار أنبوبة اللقاح خلال الميسم والقلم حتى وصولها إلى البويضة ، وكان ذلك فى الجنس *Portulaca* .

١٢- اكتشفت نواة الخلية بواسطة Schleiden فــى عـــام ١٨٣٧ ، و Schwann

فــــى عـــام ١٧٢٨ .

١٣- لاحـظ Hofmeister الكرومـوسـومـات فى نواة الخليـة فى عـام ١٨٤٨ ، إلا أن ملاحظته لم تكتشف إلا فيما بعد .

١٤- قدم Strasburger - فى عام ١٨٧٥- أول شـرح صـحيح للكروموسـومـات ، وكان لدراسـاته المتـتـاليـة هو ، و Flemming ، و Bovari الفـضل فى اكـتـشـاف ثبـات عـدد الكروموسومات فى كل نوع من النباتات .

١٥- اقـتـرح Strasburger لفظـة جاميطة gamete فـــى عــام ١٨٧٧ ، واقـتـرح Waldeyer لفظ كروموسوم Chromosome فى عام ١٨٨٨ .

١٦- اقترح Weismann موضـوع اختزال عدد الكروموسومات خلال الفترة من ١٨٨٥ إلى ١٨٨٨ ، ثم تأكد ذلك من أبحاث Boveri خلال عامى ١٨٨٧ ، ١٨٨٨ .

١٧- شرح Strasburger عملية الانقسام الاختزالى فى النباتات فى عام ١٨٨٨ .

١٨- اكتشف Navashin عمليـة الإخـصـاب المزدوج فى النبـاتات فى عـام ١٨٩٨ ، ثم استعان Correns ، و Devris - كل على حـدة- بهـذه الـظـاهـرة فى تفسـيـر ظاهرة الزينيا Xenia فى النباتات .

١٩- نشر كتاب Darwin عـن "منـشـأ الأنـــواع بوسائل الانتـخـاب الطبـيـعى" Origin of Species by Means of Natural Selection فى عـام ١٨٥٩ ، وقـد انـتـشـرت آراء دارون وسادت الأفكار الأخرى حتى عام ١٩٠٠ .

٢٠- ظهر الكتاب الثانى لدارون عن «تأثير التلقيح الذاتى والخلطى فى المملكة النباتية» Effect of Self and Cross Fertilization in the Vegetable Kingdom فى عـام ١٨٨٩ .

٢١- شرح Hopkins طريقة الكوز للخط ear-to-row لتحسين الذرة فى عام ١٨٩٩ .

٢٢- اكتشـفت دراسـات Mendel فى عــام ١٩٠٠ بـواسطة Correns ، و Devris ، وTschermak كل على حدة .

٢٣- اقـتـر ح Bateson فى عـام ١٩٠٠ الألـفاظ اليلـى allelomorph ، و أصـيل homozygote و خليط heterozygote ، والجيل الأول F_1 ، والثانى F_2 ، وأضـاف إليها اللفظ وراثة genetics فى عام ١٩٠٦ .

٢٤- يرجع إلى Nilsen فى السـويد - فى عـام ١٩٠١ - الفـضل فى تأكـيـد دور

الانتخاب فى تحسين أصناف القمح ، والشعير ، والشوفان .

٢٥- نشرت نظرية Devris عن الطفرات ودورها فى التطور فى عام ١٩٠٢ .

٢٦- اكتشف Punnet & Bateson أول حالة ارتباط فى عام ١٩٠٢ ، وكان ذلك أثناء دراستهم على البسلة .

٢٧- توصل Johannsen إلى نظرية السلالة النقية Pure Line Theory فى عام ١٩٠٣ .

٢٨- نشر Biffen فى عام ١٩٠٣ أيضًا نتائج أبحاثه عن وراثة صفة المقاومة للصدأ المخطط Stripe Rust فى القمح ، التى توصل منها إلى أن صفة المقاومة يتحكم فيها عامل وراثى واحد متنح ، وكانت تلك أول دراسة تنشر عن وراثة المقاومة للأمراض .

٢٩- يرجع إلى Haming - فى عام ١٩٠٤ - الفضل فى استخدام بيئات الأجنة .

٣٠- اقترح Winkler لفظ "هيئة كروموسومية " Genome فى عام ١٩٠٦ .

٣١- اقترح Harris فكرة مربع كاى x^2 فى عام ١٩١٢ ، وبين أوجه استعمالها فى التأكد من نسب الانعزالات الوراثية .

٣٢- كتب McFadden عن الهجن بين القمح والشيلم فى عام ١٩١٧ ، وقد كان معروفاً - قبل ذلك بفترة طويلة - أن هذا الهجين يحدث طبيعيًا .

٣٣- قسّم Sakamura أنواع القمح على أساس عدد الكروموسومات فى عام ١٩١٨، ونشرت أبحاث Kihara حول الموضوع نفسه فى عامى ١٩٢١ ، و ١٩٢٤ .

٣٤- اشتغل كل من East ، و Shull بالتربية الداخلية فى الذرة ، ونشر East نتائج أبحاثه فى عام ١٩٠٤ ثم من عام ١٩٠٧ إلى عام ١٩١٢ ؛ بينما نشر Shull أبحاثه فى عام ١٩٠٥ ثم من ١٩٠٨-١٩١١ . وقد توقف Shull عن الدراسة فى هذا الموضوع بعد ذلك ، بينما استمر East فى دراساته فى محطة الأبحاث بكونيكتكت ، إلى أن خلفه هناك Hayes ، ثم تلاه Jones . ويرجع إلى هؤلاء العلماء الأربعة الفضل فى وضع التفاصيل الكاملة لتربية الذرة آنذاك .

٣٥- اقترح Shull - فى عام ١٩١٦ - الاصطلاح " قوة هجين " Heterosis .

٣٦- قدم Jones - فى عام ١٩١٧ - نظريته المعروفة لتفسير قوة الهجين ، وأنتج أول صنف ذرة هجين فى عام ١٩١٧ أيضًا ، واقترح الهجن الزوجية فى عام١٩٢٠ .

٣٧- أوضح كل من Hayes & Stakman فى عام ١٩٢١ أهمية اختبار المقاومة للصدأ

فى القمح ، لكل سلالة من الفطر المسبب للمرض على حدة .

٣٨- وصف Stadler التأثير المطفر للأشعة السينية على الشعير فى عام ١٩٢٨ .

٣٩- اكتشف Dustin الكولشيسين فى عام ١٩٢٤ ، واستعمله Blackeslee & Avery ، و Nebel & Ruttle فى عام ١٩٣٧ فى مضاعفة كروموسومات عدد كبير من الأنواع النباتية .

٤٠- نشرت دراسات Vavilov عن نشأة الأنواع والتباين وتربية النباتات فى عام ١٩٣٥ فى تقرير من ٢٥٠٠ صفحة تحت اسم "الأساس العلمى لتربية النباتات" ، وترجم هذا التقرير إلى الإنجليزية بواسطة Chester فى عامى ١٩٤٩ ، و ١٩٥٠ .

٤١- شرح Harlan & Pope - فى عام ١٩٢٢ - طريقة التلقيح الرجعى لتحسين محاصيل الحبوب الصغيرة .

٤٢- شرح Richey - فى عام ١٩٢٧ - طريقة التحسين المجمّع Convergent Improvement لسلات الذرة المرباة داخليًا .

٤٣- اكتشف Rhodes العقم السيتوبلازمى فى الذرة فى عام ١٩٣٣ .

٤٤- اقترح Atkins & Mangelsdorf - فى عام ١٩٤٢ - استخدام السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة isogenci lines فى دراسة التأثير الكلى للجين فى النبات .

٤٥- شرح Jones & Clarke - فى عام ١٩٤٣ - وراثة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى فى البصل ، وبيّنا كيفية الاستفادة منه فى إنتاج البذرة الهجين . ويعد ذلك أول استخدام للعقم الذكرى فى إنتاج الهجن التجارية .

٤٦- اقترح Stadler - فى عام ١٩٤٤ - طريقة الانتخاب الجاميطى gamete selection لتحسين سلالات الذرة المرباة دخليًا .

٤٧- اقترح Hull - فى عام ١٩٤٥ - طريقة الانتخاب المتكرر recurrent selection لتحسين النباتات .

٤٨- اقترح Comstock وآخرون - فى عام ١٩٤٩ - طريقة الانتخاب المتكرر المتبادل reciprocal recurrent selection .

٤٩- أوضح Chase - فى عام ١٩٤٩ - أيضًا طريقة استخدام النباتات الأحادية فى الحصول على نباتات ثنائية أصيلة بدلاً من التربية الداخلية .

٥٠- استخدم Sears الإشعاع فى عام ١٩٥٦ كأداة لنقل الجينات المسئولة عن المقاومة

لصدأ الأوراق من النوع البرى *Aegilops umbellulata* إلى القمح .

الأمور التى يجب أخذها فى الاعتبار قبل بدء برنامج التربية

يتطلب أى برنامج للتربية مدة لاتقل عن خمس سنوات ، وقد تصل هذه المدة إلى خمسة وعشرين عامًا أو أكثر ، وهو ما يستلزم منّ المربى التفكير فى بعض الأمور الهامة قبل أن يبدأ فى برنامج التربية ؛ حتى لايقضى سنوات طويلة من العمل بغير داع ، أو فيما لاطائل من ورائه ، ويلخص Munger (١٩٦٦) هذه الأمور فيما يلى :

١- يتعين على المربى أن يتعرف على احتياجات المنتج والمستهلك ، ومتطلبات مصانع الحفظ ، وأن يأخذ رأى المزارعين ، والمرشدين الزراعيين ، ومنتجى البذور ، والعاملين فى مجالى الشحن والتسويق بشأن الصفات التى يرونها ضرورية فى الصنف الجديد .

٢- يجب أن يأخذ المربى - فى الاعتبار - المؤشرات الدالة على التغير فى ذوق المستهلك ؛ فلايبدأ برنامج تربية لإدخال صفة معينة ، يعلم - سلفًا - أنه توجد بداية تغير فى ذوق المستهلك بشأنها ، كما حدث عندما تغير الطلب على الكرفس الأصفر ، وأصبح المستهلك يفضل الكرفس الأخضر .

٣- وينطبق الشئ ذاته على المؤشرات الدالة على التغيرات المحتملة فى طرق الحصاد ؛ نظرا لأن الدواعى الاقتصادية كثيراً ماتستلزم إجراد الحصاد آليًا ، وهو ما يتطلب أصنافاً ذات مواصفات خاصة .

٤- ويجب على المربى أن يأخذ -أيضًا فى الاعتبار- التغيرات المحتملة فى السلالات الفسيولوجية للمسببات المرضية عند التربية لمقاومة الأمراض ، وهو أمر يختلف من مرض إلى آخر ، ويكون معروفاً سلفًا .

٥- وعلى المربى أن يضيف صفات واضحة ؛ مثل اللون ، والحجم ، والشكل المرغوب فيه من المستهلك ؛ عند التربية لتحسين صفات لايشعر بها المستهلك ؛ مثل القيمة الغذائية العالية.

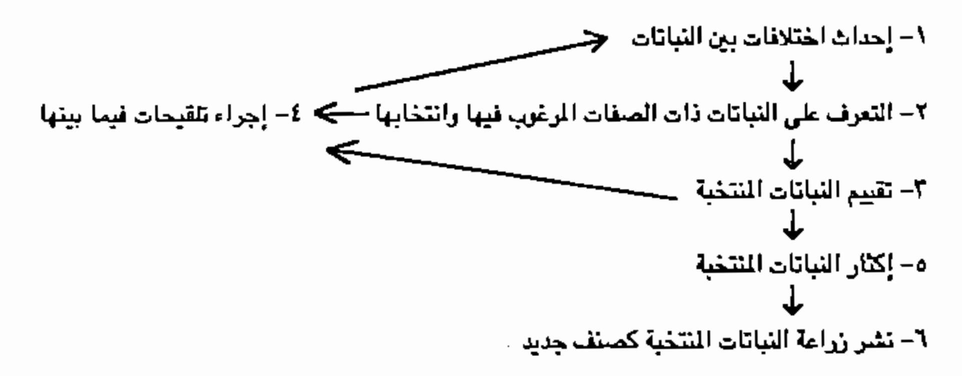
٦- يتعين على المربى - أيضًا- أن يكون واقعيًا بشأن أهداف التربية ؛ فمن الصعب إنتاج أصناف تكون مبكرة ، وعالية المحصول ، وكبيرة الثمار فى آن واحد ؛ لأن الأصناف العالية المحصول ، الكبيرة الثمار .. غالباً ماتكون متأخرة .

٧- كما يجب أن يفاضل المربى بين الطرق المختلفة للوصول إلى نفس الهدف ، ويختار أيسرها وأسرعها ؛ فمثلاً .. أمن الأفضل التربية لزيادة محتوى ثمار القاوون من السكر ، أم جعل النباتات أكثر مقاومة للأمراض ؟ ، وهو مايعنى بقاء النباتات نامية بصورة جيدة إلى نهاية موسم الحصاد ؛ ممايؤدى إلى نقص عدد الثمار التى تقل فيها نسبة السكر . ومثال آخر .. فإن المربى يمكن أن يفاضل بين التربية لتحسين صفة الطعم فى الطماطم ، والتربية لمقاومة التشقق ، وارتفاع صلابة الثمار ، وهو مايعنى إمكان تأخير الحصاد ، إلى أن تصبح الثمار أكثر نضجًا ، وأفضل طعمًا .

٨- كما يتعين على المربى قبل أن يبدأ برنامج التربية أن يفاضل بين التربية والوسائل الأخرى الممكنة ؛ لتحقيق الهدف نفسه ، وعلى سبيل المثال .. فإنه لاتوجد صعوبة كبيرة فى مكافحة بعض الأمراض والحشرات بوسائل أخرى غير التربية ، كما أن إنتاج خضروات صغيرة الحجم - بتضييق مسافة الزراعة - أمر أسهل من إنتاج أصناف جديدة أصغر حجما .

الخطوات الأساسية فى برنامج تربية النبات

يلخص Burton (١٩٦٦) الخطوات الأساسية فى برنامج التربية فيما يلى :



يربط هذا التلخيص لبرنامج التربية بين العمليات التى يقوم بها المربى ، خاصة بالنسبة للعملية الرابعة ، والتى يقصد بها الانتخاب المتكرر recurrent selection ؛ حيث توضح الأسهم مكان الانتخاب المتكرر من برنامج التربية . وتدور جميع اهتمامات المربى نحو هذه الأمور الستة ووسائل تحقيقها . وقد يعترض البعض على أن الخطوة الخامسة - الخاصة بإكثار النباتات المنتخبة - ليست من اختصاص المربى ، ولكن مَنْ الذي يمكن أن تتوفر لديه

الرغبة فى المحافظة على الصنف الجديد وإكثاره أكثر من المربى نفسه الذى يقضى - فى المتوسط - من ١٠-٢٥ سنة فى إنتاج أى صنف جديد ؟

يقوم المربى بجميع الخطوات التى سبق بيانها ، سواء أكان يعمل فى المؤسسات العلمية الحكومية ، أم فى القطاع الخاص كشركات إنتاج البذور ، وهما مجالان يربط بينهما التعاون الوثيق والدعم المتبادل ؛ للوصول إلى الهدف المنشود من التربية . ولمزيد من التفاصيل عن دور المربى فى كلتا الحالتين .. يراجع Strosnider (١٩٨٤) ، و Innes (١٩٨٤) ، و Ryder (١٩٨٤) .

مصادر الجيرمبلازم اللازم لبدء برنامج التربية

يعرف الجيرمبلازم germplasm بأنه أى مصدر لصفة معينة ، أو لمجموعة من الصفات الوراثية المحددة ، وهو اصطلاح واسع الاستعمال ؛ فعلى سبيل المثال .. يطلق على المجموعة العالمية لأصناف القمح وسلالاته - وهى تزيد على ٢٥ ألفًا - بأنها جيرمبلازم القمح العالمى ، ويطلق اسم جيرمبلازم الطماطم المقاوم للحرارة العالية على مجموعة الأصناف ، والسلالات التى تتوفر فيها هذه الصفة ، كما تطلق كلمة جيرمبلازم على مجموعة الأصناف والسلالات ، التى تتوفر لدى المربى ؛ الذى يعمل على تحسين صفة ما أو مجموعة من الصفات فى محصول معين . وقد استعمل - فى السنوات الأخيرة - مصطلح تعزيز الجيرمبلازم germplasm enhancement (Ryder ١٩٨٤) ؛ للدلالة على عملية تربية النباتات ذاتها وتحسينها . وهى - فى جوهرها - عملية تجميع مستمرة لصفات مرغوب فيها فى صنف ناجح ، أو فى مجموعة من الأصناف من محصول ما ، تمثل الجيرمبلازم المرغوب فيه من هذا المحصول .

ويمكن إيجاز مصادر الجيرمبلازم اللازم لبدء برنامج التربية فيما يلى : (عن Fehr ١٩٨٧).

١- الأصناف التجارية المحسنة :

تعد الأصناف التجارية المحسنة أهم أنواع الجيرمبلازم التى يمكن أن يبدأ بها المربى برنامج التربية . وكلما ازداد اختلاف هذه الأصناف فى صفاتها .. ازدادت الفرصة لحصول المربى على تراكيب وراثية جديدة ، تجمع الصفات المرغوبة فيها معًا . ويفضل

استعمال الأصناف الحديثة المستخدمة فى الزراعة التجارية- سواء أكانت محلية ، أم مستوردة - على الأصناف القديمة التى لم تعد مستخدمة فى الزراعة. ويحصل على الأصناف التجارية من شركات البذور المتخصصة .

٢- صفوة سلالات التربية Elite Breeding Lines :

يمكن أن يبدأ برنامج التربية معتمداً على سلالات التربية الممتازة التى تمثل الصفوة المنتخبة من برامج تربية أخرى ، بعد أن تكون قد قطعت شوطًا طويلاً فى عمليات التقييم ولكنها لم تعتمد بعد أو لايرغب فى اعتمادها كصنف جديد . يتم تداول هذه السلالات عادة بين مربى المحصول الواحد ، خاصة بعد أن يعلن عنها فى المجلات العلمية المتخصصة؛ مثل HortScience بالنسبة لسلالات المحاصيل البستانية .

٣- سلالات التربية المحسنة الفائقة فى صفة أو أكثر :

يمكن أن يبدأ برنامج التربية بسلالات تربية محسنة لم تصل إلى مستوى الصفوة ، ولكنها تفوق غيرها فى صفة ما ، أو فى صفات قليلة يرغب المربى فى إدخالها ضمن برنامج التربية . ويمكن اعتبار الأصناف التجارية القديمة - التى لم تعد مستعملة تجاريا - من هذه الفئة ؛ لأنها قد تكون مصدراً لبعض الصفات المرغوب فيها . ويطلق على هذه النوعية من الجيرمبلازم اسم الأصول الوراثية genetic stocks ، أو سلالات الجيرمبلازم germplasm lines .

٤- النباتات المُدخلة أو المستوردة plant Introductions من الأنواع المزروعة :

تشمل هذه الفئة من الجيرمبلازم كل السلالات التى تُجمعَ من مختلف دول العالم، بما فى ذلك السلالات التى تجمع محليًا ، أو تعد مصدرًا مهمًا لعديدٍ من الصفات ، ويبحث فيها مربو النبات - دائماً - عن مصادر لمقاومة الآفات المختلفة ، التى لاتتوفر فى الأصناف التجارية ، وهى تشمل الأصناف البلدية ، والطرز البرية من المحصول ، وطرز "الحشائش" المحصولية . وقد خُصَّ الفصل الخامس بهذا الموضوع .

٥- الأنواع القريبة :

يلجأ المربى - أحياناً - إلى الأنواع القريبة من المحصول المزروع ؛ لنقل صفات معينة

منه ، لاتتوفر فى المحصول الذي يسعى إلى تحسينه. وتُتبعَ – فى هذه الحالة – طرق شتى لإجراء التهجين النوعى أو الجنسى المطلوب . وسوف نتناول هذا الموضوع – بالتفصيل – فى فصل لاحق .

هذا .. ويعطى Sagaravatti & Beany-Longhi (١٩٨٢) قائمة بأسماء مصادر البذور فى جميع أنحاء العالم وعناوينها .

أما مصادر المعلومات عن الجيرمبلازم – الذى يمكن أن يبدء به المربى برنامج التربية – فإنها تتوفر فيما يلى :

١– الدوريات العلمية المتخصصة .

٢– كتيبات شركات البذور العالمية .

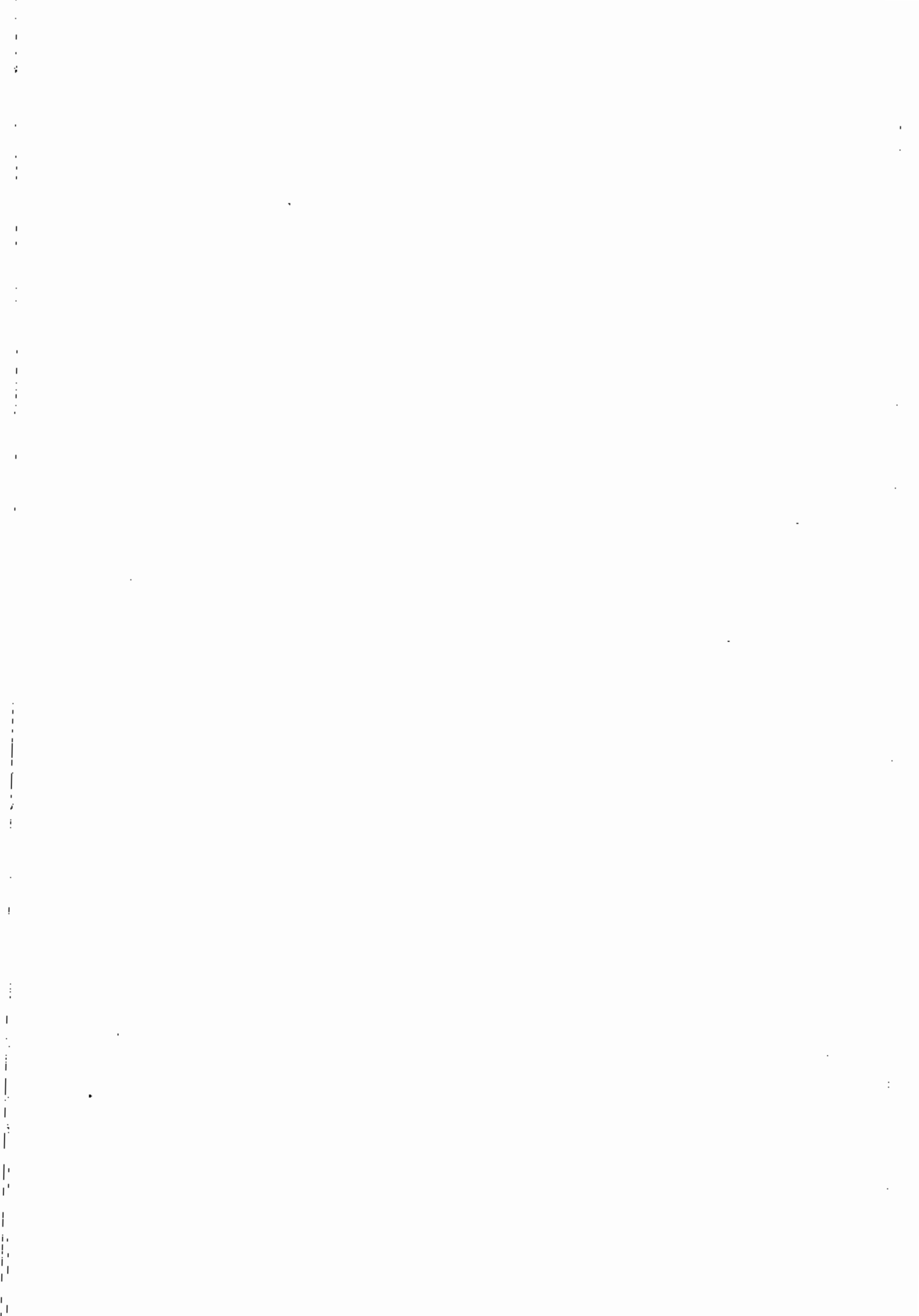
٣– تقارير تعاونيات المهتمين بوراثة مختلف المحاصيل ، وهى جمعيات تضم المشتغلين بوراثة محاصيل معينة، وتحسينها ، وتهتم بجمع جيرمبلازم هذه المحاصيل ، ودراسته وراثيًا ، وتُنشَر تقارير دورية عن نتائج دراساتهم فى هذه المجالات ، ومن أمثلتها.. ما يلى (عن Rick ١٩٧٠) :

– تعاونية مربى التفاح Apple Breeders Coperative .
– تعاونية تحسين الفاصوليا Bean Improvement Cooperative .
– تعاونية تحسين الصليبيات Crucifer Improvement Cooperative .
– تعاونية وراثة القرعيات Cucurbit Genetics Cooperative .
– مؤتمر مربى العنب Grape Breeders Conference .
– تعاونية برنامج تربية الجزر الوطنية National Cooperative Carrot Breeding Program
– اجتماع عمل الخس الوطنى National Lettuce Workshop .
– مؤتمر مربى الخوخ الوطنى National Peach Breeders Conference .
– رابطة مربى الذرة السكرية الوطنية National Sweet Corn Breeders Association
– تعاونية مربى الكمثرى Pear Breeders Cooperative .
– رابطة وراثة البسلة Pisum Genetics Association .

- المشتغلون بالثمار الصغيرة Small Fruit Workers .
- برنامج تبادل الطماطم الجنوبى Soulthern Tomato Exhange Program .
- المائدة المستديرة لمربى الطماطم Tomato Breeders Round Table .
- تعاونية وراثة الطماطم Tomato Genetics Cooperative .
- الرسالة الإخبارية لتحسين الخضر Vegetable Improvement Newsletter .
- خدمة معلومات القمح Wheat Information Service .

وقد ذكر المرجع عناوين محررى تقارير هذه الجمعيات والتعاونيات ، إلا أنهم يتغيرون من آن لآخر . وبالرغم من أن غالبية الجمعيات التى ورد ذكرها أمريكية ، وتختص بالمحاصيل البستانية .. إلا أنه توجد جمعيات أخرى أوروبية ، وجمعيات تهتم بالمحاصيل الحقلية .

٤- بالاتصال الشخصى مع مربى النبات فى مختلف دول العالم .



الفصل الثاني

طرق التكاثر وأهميتها
فى تربية النبات

إن لطريقة تكاثر المحصول أهمية كبيرة للمربى ؛ لما لها من تأثير فى التركيب الوراثى للنبات الواحد ، ومدى التشابه أو الاختلاف الوراثى بين نباتات العشيرة الواحدة ، والطرق المناسبة لتربية المحصول ، والكيفية التى يتم بها تداوله أثناء تنفيذ برنامج التربية ؛ لذا فإن الدراسة المفصلة لطرق التكاثر فى النباتات تعد ضرورية لفهم أساسيات التربية وطرقها . ويمكن - عموماً - تقسيم طرق التكاثر فى النباتات إلى قسمين رئيسين ، هما : التكاثر اللاجنسى ، والتكاثر الجنسى .

التكاثر اللاجنسى

يعنى بالتكاثر اللاجنسى Asexual Reproduction تكوين الأفراد الجديدة بطريقة لاجنسية ، أى دون تلقيح وإخصاب ، ويتبع ذلك أن تكون كل الأفراد الجديدة امتداداً للنبات الأصلى ، الذى نشأت منه ، ومماثلة له تماماً فى تركيبها الوراثى ، وهو مايعنى أن تكون متجانسة تماماً فيما بينها . وتنمو الأفراد الجديدة من الفرد الأصلى بطريقة الانقسام الميتوزى Mitosis (أو غير المباشر) .

الانقسام الميتوزى

يعد الانقسام الميتوزى وسيلة الانقسام الوحيدة للتكاثر اللاجنسى فى النباتات الراقية

وهو لايُحدث أى تغير وراثى فى الخلايا الناتجة من الانقسام ؛ لذا .. فإن جميع خلايا الفرد الجديد تكون مماثلة تماماً فى تركيبها الوراثى لخلايا النبات الأصلى الذى نشأت منه ، ويتضح ذلك عند تتبع خطوات الانقسام الميتوزى ، التى يمكن إيجازها فيما يلى (شكل٢-١):

١- الدور التمهيدى Prophase :

تظهر الكروموسومات - فى هذا الدور- على هيئة خيوط رفعية مُنشقة طوليًا ، وملتفة حول بعضها فى النواة ؛ حيث يكون كل كروموسوم منشقاً إلى كروماتيدتين . وكلما تقدم هذا الدور .. ازداد انكماش الكروموسومات ؛ حتى يظهر كل كروموسوم فى نهاية هذا الدور؛ كوحدتين أسطوانيتين متوازيتين متصلتين بسنترومير واحد ، هما الكروماتيدات chromatids .

وفى نهاية هذا الدور .. يختفى الغشاء النووى والنوية تدريجيًا ، وتبدأ الكروموسومات فى ترتيب نفسها حول المحور الوسطى للخلية equatorial plane .

٢- دور الوضع المتوسط Metaphase :

يبدأ ظهور المغزل spindle عند طرفى الخلية ، ثم ترتب الكروموسومات نفسها على خيوط المغزل ، ويكون اتصالها بالمغزل فى مناطق السنتروميرات .

٣- الدور الانفصالى Anaphase .

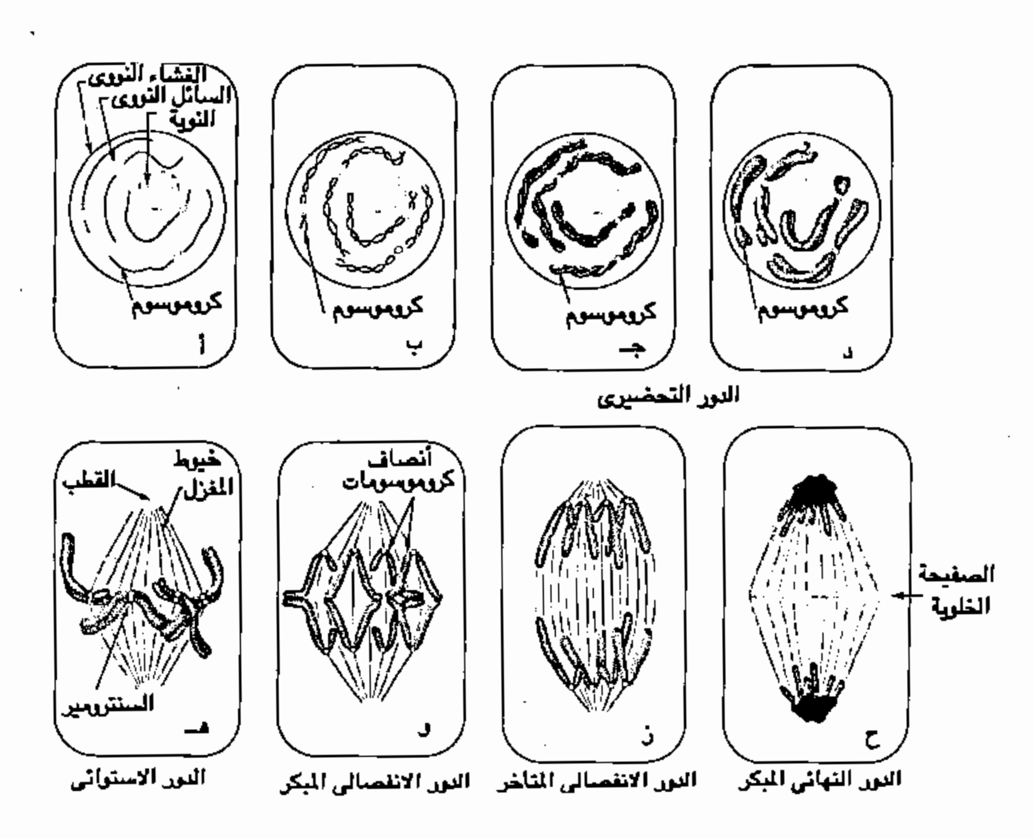
ينشق كل سنترومير طوليًا ، وبعد ذلك .. تبدأ السنتروميرات الشقيقة فى الابتعاد عن بعضها ، كلٌ ساحبًا معه كروماتيدته ؛ ويؤدى ذلك إلى انفصال الكروماتيدتين الشقيقتين عن بعضهما ، وذهاب كل كروماتيدة إلى القطب المضاد . وتعرف كل كروماتيدة بعد ذلك باسم كروموسوم .

٤- الدور النهائى Telophase

يبدأ الدور النهائى بمجرد وصول مجموعتى الكرومتيدات الصنوية إلى قطبى الخلية ؛ فتبدأ فى التغير من الحالة التى كانت عليها إلى حالة خيطية رفعية طويلة ؛ حتى يصعب تمييزها ، ويتكون - فى أثناء ذلك - الغشاء النووى حول كل مجموعة من مجموعتى

الكروموسومات ، كما تبدأ النوية فى الظهور .

يلى ذلك .. انقسام السيتوبلازم بتكون صفيحة وسطية cell plate ، ويختفى المغزل ، ثم تدخل الخلية فى الدور البينى interphase قبل الابتداء فى انقسام ميتوزى آخر .



شكل (٢ - ١) : خطوات الانقسام الميتوزى (عن Ros وآخرين ١٩٨٤) .

أما الدور البينى .. فإنه يتكون من مرحلة الانقطاع الأولى gap one phase (أو G_1) الذى يبدأ بعد انقسام الخلية مباشرة ، وتقوم الخلايا خلاله بتمثيل مختلف الأحماض النووية

الريبوزية (RNAs) اللازمة لتمثيل البروتين . كما يتحدد –خلال هذه المرحلة – إذا كانت الخلية سوف تبقى ميرستيمية قادرة على الانقسام ، أم تصبح من الخلايا الدائمة ؛ فإذا احتفظت بقدراتها على الانقسام .. فإنها تدخل فى مرحلة التمثيل synthesis phase (أو S) ، وفيها .. يضاعف الـ DNA نفسه من مواد أولية ، سبق تمثيلها خلال مرحلة الانقطاع الأولى. وتلى ذلك .. مرحلة الانقطاع الثانية (G_2) ، وفيها .. يتم تمثيل بعض مكونات الخلية الضرورية لتكوين خيوط المغزل . وبانتهاء هذه المرحلة .. تدخل الخلية فى الانقسام الميتوزى من جديد .. يتضح مما تقدم أن الدور البينى ليس دورسكون – كما كان يعتقد – بل إن الخلية تكون فى أوج نشاطها ، وتزداد فى الحجم ، وتقوم بتمثيل كل احتياجاتها من المواد والمكونات اللازمة لبدء دورة جديدة من الانقسام .

طرق التكاثر اللاجنسى

توجد ثلاث طرق للتكاثر اللاجنسى هى : التكاثر الخضرى ، والتكاثر اللاإخصابى ، والتكاثر بمزارع الأنسجة والخلايا .

١- التكاثر الخضرى :

يعرف التكاثر الخضرى Vegetative Reproduction بأنه : التكاثر بالأجزاء الخضرية للنبات ؛ مثل التكاثر بالدرنات ، والجذور ، والريزومات ، والأبصال ، والعقل ؛ والتكاثر بالترقيد ، والتطعيم ، والتركيب ... إلخ . ويؤدى الإكثار الخضرى المستمر لنبات واحد إلى إنتاج ما يسمى بالسلالة الخضرية clone .

٢- التكاثر اللاإخصابى :

يعرف التكاثر اللاإخصابى Apomictic Reproduction (أو Apromixis) بأنه : التكاثر بالبذور التى تحتوى على أجنة لاإخصابية ، لم تنشأ من إخصاب البويضة بحبة لقاح ، وإنما نشأت من نمو إحدى الخلايا الأمية الثنائية المجموعة الكروموسومية مباشرة ، إلى جنين تتشابه خلاياه – فى تركيبها الوراثى – تماماً – مع النبات الذى نشأت منه . ويتكون – عادة – عدةُ أجنات لاإخصابية فى البذرة الواحدة ، ويؤدى الإكثار اللاإخصابى المستمر لنبات واحد إلى إنتاج مايسمى بالسلالة اللاإخصابية Apomictic Line .

٢- التكاثر بمزارع الأنسجة والخلايا :

تستعمل مزارع الأنسجة والخلاية Tissue and Cell Cultures في بعض الحالات كوسيلة للإكثار اللاجنسي غير المحدود للتراكيب الوراثية المرغوب فيها من النباتات : ومن أمثلة ذلك مايلي :

(أ) مزارع القمة الميرستيمية :

تستعمل مزارع القمة الميرستيمية Meristem Culture في إكثار أصناف الشليك وغيره من المحاصيل الزراعية ؛ لإنتاج نباتات خالية من الفيرس . وتعد هذه الطريقة - في جوهرها - إحدى طرق التكاثر الخضري .

(ب) مزارع الخلايا :

تستعمل مزارع الخلايا Cell Cultures - هي الأخرى - في إكثار بعض النباتات ؛ حيث تعطى بعض الخلايا المفردة - بالمزرعة - أجنة لاجنسية Embryoids ، وهي أجسام مكتملة التكوين تشبه الأجنة العادية ؛ تنمو مباشرة إلى نباتات كاملة (Swamy & Krishnamurthy ١٩٨٠) . وتوجد بعض أوجه الشبه للمقارنة بين هذه الأجنة والأجنة المتكونة في حالات التكاثر اللاإخصابي ؛ إذ إن كليهما لاجنسي .

أهمية التكاثر اللاجنسي

ترجع أهمية التكاثر اللاجنسي - بالنسبة للمربي - إلى ماله من مزايا أو عيوب ، كما يلي :

١- يمكن - بواسطة التكاثر اللاجنسي عامة - المحافظة على أي تركيب وراثي ، يتم التوصل إليه ، وإكثاره في الحال ، وبصفة مستمرة ، دون أن يحدث أي تغير في تركيبه الوراثي .

٢- وفي المقابل .. فإن التكاثر اللاجنسي الإجباري - (أي عندما يكون المحصول غير قادر على التكاثر الجنسي إطلاقًا كما في الثوم ، والموز ، والعنب البناتي) - هذا التكاثر يقلل من فرصة ظهور تراكيب وراثية جديدة لتحسين المحصول .

٣- لاجدوى من الانتخاب بين النباتات الناتجة من التكاثر اللاجنسي لنبات ما ؛ لأنها

تكون – جميعاً – متشابهة فى تركيبها الوراثى .

٤- كثيرا مايلجأ المربى إلى الإكثار الخضرى كوسيلة لزيادة عدد النباتات من نفس التركيب الوراثى ، قبل أن يلجأ إلى الإكثار الجنسى ؛ حتى يحصل على أكبر قدر ممكن من الانعزالات الوراثية ، حينما يبدأ إكثاره جنسيًا ، وتتبع طرق خاصة لتحقيق ذلك فى المحاصيل التى لاتتكاثر خضريًا بصورة طبيعية .

٥- تفيد مزارع القمة الميرستيمية فى إنتاج نباتات خالية من الإصابات الفيرسية ، فى حالة إصابة جميع نباتات سلالة خضرية بمرض فيرسى ، كما لاتنتقل كثير من الأمراض الفيرسية عن طريق الأجنة اللاإخصابية ، ويفيد ذلك فى تجديد السلالات الخضرية التى تتدهور بفعل إصابتها بالأمراض الفيرسية .

٦- يكون التكاثر اللاإخصابى الاختيارى (وهى الحالة التى يتكون فيها جنين جنسى واحد مع الأجنة اللاإخصابية فى البذرة) عائقًا أمام المربى إذا رغب فى الحصول على البادرة الناتجة من الجنين الجنسى ، ولم يتمكن من التمييز بينها وبين البادرات الأخرى الناتجة من الأجنة اللاإخصابية فى طور مبكر من النمو ؛ يتعين عليه فى هذه الحالة الاستمرار فى زراعتها ، إلى أن يمكنه التمييز بينها ، وقد يستغرق ذلك عدة سنوات .

حالات التكاثر اللاإخصابى

تعد كل حالات التكاثر اللاإخصابى Apomixis توالداً بكرياً Parthenogensis ولكن العكس ليس صحيحا ؛ لأن التوالد البكرى يعنى أن النبات يعقد ثماراً بذرية ، تحتوى داخلها – أى داخل البذور – على أجنة بكرية ، تكونت بنمو أحد أنوية أو خلايا المبيض مباشرة ، دونما حدوث تزاوج بين خلية ذكرية وأخرى أنثوية ؛ فإذا تكون الجنين بنمو نواة البيضة الأحادية مباشرة .. فإنه يكون أحادى المجموعة الكروموسومية haploid ، ويعطى هذا الجنين – عند نموه – نباتا يختلف وراثيًا ومظهريًا عن النبات الأصلى الثنائى المجموعة الكروموسومية diploid الذى نشأ منه ، ولايعد هذا الجنين لاإخصابيًا . أما إذا تكون الجنين بنمو خلية ثنائية من خلايا المبيض مباشرة .. فإنه يكون ثنائى المجموعة الكروموسومية ، ويعطى عند نموه – نباتاً يتشابه وراثيًا ومظهريًا مع النبات الأصلى الذى نشأ منه ، وهذا هو الجنين اللاإخصابى ، أو الخضرى . وترجع أهمية الأجنة الأحادية إلى أنه قد يمكن استخدامها فى الحصول على نباتات ثنائية أصيلة ، فى جميع العوامل

الوراثية فى وقت قصير نسبيا (بمضاعفة كروموسوماتها بالمعاملة بالكولشيسين) ، بدلاً من اللجوء إلى التربية الداخلية لعدة أجيال .

ويجب التمييز بين ظاهرة التوالد البكرى التى سبق شرحها ، وظاهرة العقد البكرى parthenocarpy التى تعنى تكوّن ثمار بكرية خالية من البذور seedless ، كما هى الحال فى الجوافة البناتى ، والبرتقال أبو سرة ، والموز . وتحتوى مبايض أزهار هذه الفاكهة على تركيزات عالية من الهرمونات الطبيعية ، التى تعمل على انقسام خلايا المبيض ، وزيادة حجمه ، مع بقاء الثمرة لحين نضجها . وتمثل هذه الظاهرة عائقًا أمام المربى ، الذى يرغب – دائمًا – فى الحصول على البذور المحتوية على الأجنة الجنسية ، التى تعد المصدر الرئيسى للتراكيب الوراثية الجديدة ؛ فإذا كانت هذه الظاهرة تحدث بصورة طبيعية .. فإن المربى يلجأ إلى طرق معينة فى تربية المحصول ، لاتعتمد على إجراء التهجينات . أما إذا كانت هذه الظاهرة تحدث تحت ظروف خاصة فإنه يتعين الاحتراس من تجنب وقوعها ؛ لأن تكوين الثمار البكرية يعد عائقا للمربى . وعلى سبيل المثال .. فإن إجراء التلقيحات فى القرعيات – فى أثناء فترة ارتفاع درجة الحرارة بعد الظهر – يؤدى أحياناً إلى عقد ثمار بكرية ؛ وبذا .. يضيع على المربى موسم زراعى كامل ، وربما لايمكنه الاستفادة من تركيب وراثى مرغوب فيه قام بانتخابه .

ومن المظاهر الأخرى للثمار اللابذرية تلك التى تحتوى على أجنة ضامرة aborted embryos لم يكتمل نموها . ويلزم لتكوين هذه الثمار حدوث عمليتى التلقيح والإخصاب ، اللتين يعقبهما بدء انقسام اللاقحة لتكوين الجنين ، الذى يموت فى مراحل مبكرة من تطوره ، بينما تستمر الثمرة –ذاتها– فى نموها لحين نضجها ؛ حيث تُشَاهَد داخلها بذور ضامرة ؛ كما فى صنف العنب اللابذرى طومسون سيدلس Thompson Seedless . وقد يضمر الجنين – فى حالات أخرى– نتيجة لفشل الإندوسبرم فى إمداده بحاجته من الغذاء ، خاصة فى المراحل الأولى من نموه ، أو نتيجة لعدم وجود أى توافق بين الهيئة الكروموسومية للجاميطة المذكرة ، وتلك الخاصة بالجاميطة المؤنثة فى الزيجوت ، وتعرف هذه الظاهرة باسم Somatoplastic Sterility ، وهى تحدث فى بعض الهجن الجنسية (بين أجناس مختلفة) ، والنوعية (بين أنواع مختلفة) مثل الهجين بين الطماطم *Lycopersicon esculentum* كآم ، والنوع البرى *L. peruvianum* كآب .

أما الأجنة اللاإخصابية .. فإنها تتكون – كما سبق بيانه – نتيجة لنمو خلية أمية ثنائية إلى جنين مباشرة ، تكون جميع خلاياه ثنائية ، ومماثلة فى تركيبها للنبات الذى نشأت منه. وتقسم حالات الأجنة للاإخصابية تبعاً للخلية التى يبدأ منها تكوين الجنين كما يلى :

١– التكوين اللابوغى (أبو سبورى) Apospory :

يتكون الجنين اللاإخصابى وإندوسبرم البذرة فى هذه الحالة فى كيس جنينى ، ينشأ من خلية جسمية ثنائية المجموعة الصبغية ، غير الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة megaspore mother cell (أو الخلية الوالدة للكيس الجنينى) ، مثل إحدى خلايا الأغلفة البويضية integuments ، أو النيوسيلة nucellus . وبينما تدخل هذه الخلية فى عمليات انقسام ميتوزية لتكوين الجنين والإندوسبرم .. فإن الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة تبدأ هى الأخرى فى الانقسام الميوزى الطبيعى ، إلاّ أن الكيس الجنينى الذى ينشأ منها .. يضمحل فى بداية مراحل تكوينه . ويتميز الكيس الجنينى المتكون فى هذه الحالة باختفاء الخلايا السمتية . ويعد هذا النوع من الأجنة أكثر التكوينات اللاإخصابية انتشاراً فى المملكة النباتية كما فى buffelgrass ، و Kentuckey bluegrass .

٢– التكوين الديبلوسبورى Diplospory :

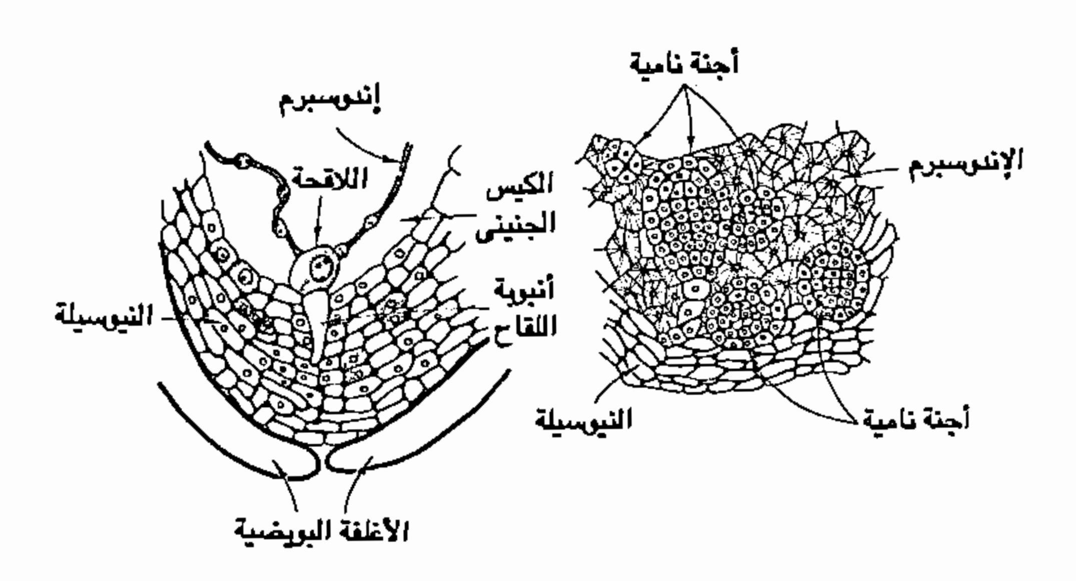
يتكون الجنين اللاإخصابى وإندوسبرم البذرة فى هذه الحالة فى كيس جنينى ينشأ من الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة ، دون أن تدخل نواتها فى عملية الانقسام الاختزالى ، بل تنقسم ميتوزيا مباشرة ، ويزداد حجمها إلى أن تشغل الفراغ الذى كان مفروضا أن يشغله الكيس الجنينى الطبيعى . يوجد هذا النوع من التكاثر اللاإخصابى فى عدة أجناس من الأعشاب النجيلية المعمرة ؛ مثل *Tripsacum* .

٣– الأجنة العرضية Adventitious Embryony :

لايتكون كيس جنينى عندما تتكون بذور تحتوى على أجنة عرضية ، بل تنمو خلية جسمية ثنائية من البويضة ovule أو الأغلفة البويضية integuments ، أو جدار المبيض ovary wall ذاته ، وتنقسم ميتوزيًا لتكوّن جنيناً . ويفترض أن أندوسبرم البذور ينشأ فى هذه الحالة من الأنوية القطبية لكيس جنينى طبيعى ، يتكون مستقلاً فى البويضة . وتكثر

الأجنية العرضـيـة فى بذور بعض أنواع الموالح ، وبعض أصناف المانجـو ، وتعـرف هذه الظاهرة باسم ظاهرة تعدد الأجنة Polyenbryony .

تنشـأ الأجنة اللاإخصـابية فى الموالح من نسيج النيوسيلة ؛ لذا .. فإنها تسمى أيضـاً أجنة نيوسيلية nucellar embryos (شكل ٢ -٢) . وتحـمل البـذرة الواحـدة من ٣ -١٢ جنيناً ، منها عدة أجنة لاإخصـابية ، إلى جانب الجنين الجنسى ، وهى الحالة التى تعرف بالتكاثر الإإخصابى الاختيارى Facultative Apomixis ، إلا أن بعضـها قد يحمل أجنة لاإخصـابية فـقط ، والبعض الآخـر .. يحمل الجنين الجنسى فقط . ويلاحظ - دائمًا - أن البادرات الناتجة من الأجنة اللاإخصـابية تكون أقوى نمواً من البادرات الناتجة من الجنين الجنسى . وتعرف الحالة التى تحمل فـيها بذورُ النوعِ أو الصنفِ أجنةً لاإخصـابيـة فقط بالتكاثر اللاإخصابى الإجبارى Obligate Apomixis .



شكل (٢ - ٢) : تكوين الأجنة النيوسيلية في ا لموالح (عن Hartmann & Kester ١٩٨٣) .

وتشـاهد ظاهرة كثـرة عـدد البـادرات التـى تنمـو من البـذرة الواحـدة فى بعض أصناف المانجو التى توجد بها ظاهرة تعدد الأجنة العرضية النيوسيلية مثلما فى الموالح. وتقسم

أصناف المانجو حسب عدد الأجنة التى توجد فى بذورها إلى قسمين كما يلى :

(أ) أصناف لايوجد فى بذورها سوى الجنين الجنسى ؛ مثل ألفونس ، وبايرى ، ومبروكة ، ودبشة .

(ب) أصناف تحتوى بذورها على جنين جنسى وأجنة لاإخصابية ، وتعطى عند إنباتها من ١-١١ بادرة ، غالباً ماتكون جميعها خضرية ؛ نظراً لضمور الجنين الجنسى ؛ كما فى الأصناف هندى بسنارة ، وتيمور ، وقلب الثور ، ولونج .

ويعد التلقيح ضرورياً فى معظم الحالات ؛ لتكوين البذور المحتوية على أجنة لاإخصابية ، بالرغم من أن النواة الذكرية لاتتحد مع نواة البيضة لتكوين الزيجوت . ويقتصر دور حبوب اللقاح فى هذه الحالات على التحفيز stimulation ؛ حيث يبدو أنها تشجع نمو الجنين والكيس الجنينى ، كما أنها قد تخصب النواتين القطبيتين لتكوين نواة الإندوسبرم . وتعرف هذه الظاهرة باسم التكاثر الجاميطى الكاذب Pseudogamy ، وهى شائعة فى عدة أنواع نباتية هامة ، مثل الموالح ، والتفاح ، والراسبرى، والـ guayule (جنس *Parthenium*) ، وبعض أنواع الأعشاب النجيلية الزرقاء من جنس *Poa* ، ولكن التلقيح ربما لايكون ضرورياً لتكوين الأجنة اللاإخصابية ، سواء أكانت عرضية كما فى جنس *Opuntia* ، أم غير عرضية كما فى بعض أنواع الأجناس *Crepis* ، و *Taraxacum* ، و *Poa* ، و *Allium* .

حالات الأجنة الأحادية

سبقت الإشارة إلى أن الأجنة الأحادية المجموعة الكروموسومية لاتعد أجنة لاإخصابية (خضرية) ؛ لأنها تعطى بادرات تختلف وراثياً ومظهرياً عن النبات الذى نشأت منه ، إلا أن بعض المؤلفين (خاصة من غير مربى النبات) يميلون إلى تصنيفها ضمن حالات التكاثر اللاإخصابى Apomixis . وتقسم الأجنة الأحادية حسب نشأتها إلى الحالات التالية :

١- التوالد البكرى Parthenogensis :

إن التوالد البكرى هو تكوين جنين أحادى من خلية البيضة داخل كيس جنينى جنسى وتحدث هذه الظاهرة بصورة اعتباطية فى بعض الأنواع النباتية ، إلا أنها تعرف - أيضا - كصفة وراثية فى سلالات معينة من أنواع أخرى ، مثلما يكون فى *Solanum nigrum* .

٢- التكوين اللاجاميطى الأحادى Haploid Apogamy :

تتكون الأجنة الأحادية فى هذه الحالة بنمو أحد الأنوية الأحادية - غير خلية البيضة - داخل كيس جنينى جنسى ؛ حيث قد ينشأ الجنين من أحد الأنوية المساعدة synergids أو الأنوية السمتية antipodal nuclei .

٣- التكوين الذكرى المنشأ (أندروجنسس) Androgensis :

يتكون جنين البذرة الأحادى فى هذه الحالة بنمو النواة التناسلية ، التى توجد فى حبة اللقاح بعد دخولها الكيس الجنينى . وتحدث هذه الظاهرة - اعتباطًا - فى بعض الأنواع ، إلاّ أنها تعرف أيضاً - كصفة وراثية - فى بعض سلالات الذرة ، وتوصف هذه الظاهرة بأنها androgensis *sensu stricto* .

٤- التكوين الأحادى الجاميطى المختلط (سيميجامى) Semigamy :

تحدث ظاهرة السيميجامى حينما تصل النواة التناسلية التى توجد بحبة اللقاح إلى الكيس الجنينى ، وتخترق خلية البيضة ، إلا أنها لاتخصب نواة البيضة ؛ لتكوين زيجوت ثنائى ، بل تنقسم كل منهما مستقلة عن الأخرى ؛ ليكوِّنا جنيناً أحاديا ، يعطى عند نموه نباتاً أحاديًا ، تكون بعض أنسجته أمية المنشأ ، وبعضها الآخر أبوية المنشأ ، وقد ذكرت هذه الظاهرة فى قطن بيما Pima .

التكاثر اللاإخصابى الخضرى

يعد التكاثر اللاإخصابى الخضرى Vegetative Apomixis (أو Vivipary) حالة خاصة ، تجمع مابين نوعى التكاثر اللاجنسى ؛ حيث يتكون فى النورات - مكان الأزهار- براعم عرضية يطلق عليها اسم بلابل bulblis . يحدث ذلك - بصورة طبيعية- فى بعض النباتات مثل الثوم (*Allium sativum*) ، والنوع *Allium bulbosa* ، وبعض أنواع الجنس *Agave* . وتتشابه هذه البراعم فى حالة الثوم مع الفصوص العادية التى توجد فى البصلة ، إلا أنها تكون أصغر حجما ، وتعطى عند إنباتها نباتات مماثلة وراثيًا ومورفولوجيًا للنبات الذى نشأت منه . ولاتعد هذه الطريقة تكاثرًا لاإخصابيًا حقيقيًا ؛ لأن الأجزاء المستعملة فى التكاثر ليست بذوراً ، ولاتحتوى على أجنة ، وإنما هى براعم

عرضية ، تكونت مكان البذور (Nygren ١٩٥٤ ، Chaudhari ١٩٧١ ، & Sneep Hendriksen ١٩٧٩ ، Hartman & Kester ١٩٨٣ ، Fehr ١٩٨٧) .

التكاثر الجنسى

يعنى بالتكاثر الجنسى Sexual Reproduction : التكاثر بالبذور التى تحتوى على أجنة نشأت بطريقة جنسية . ويسبق تكوين الجنين الجنسى خطوات ، تعد غاية فى الأهمية بالنسبة للمربى ؛ فيحدث -أولاً- الانقسام الاختزالى فى كل من متوك ومبايض الأزهار ، ومايتبع ذلك من تكوين حبوب اللقاح ، وأنوية الكيس الجنينى الأحادية . وتحدث -أثناء الانقسام الاختزالى- عمليات الارتباط والعبور ، وانعزال الكروموسومات والعوامل الوراثية . ويلى ذلك .. عمليتا التلقيح والإخصاب المزدوج ، التى تنتهى بتكوين جنين ، يكون مختلفاً وراثياً عن أبويه فى حالات التلقيح الخلطى . وتعد هذه الانعزالات الوراثية المصدر الرئيسى للاختلافات التى يحتاج إليها المربى ؛ لتربية النباتات وتحسينها : كما أن لطريقة التلقيح السائدة فى محصول ما دوراً كبيراً فى تحديد أنسب الطرق لتربيته ، وكيفية تداوله أثناء برنامج التربية .

الانقسام الاختزالى (الميوزى)

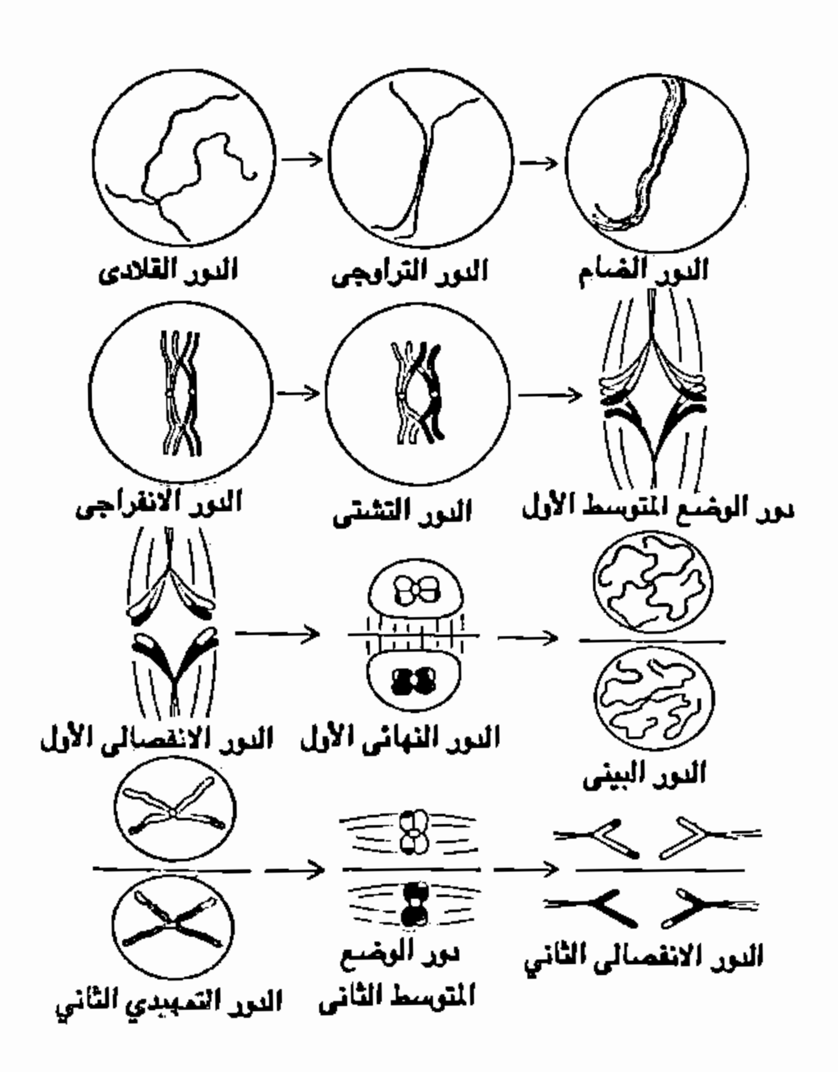
يعد الانقسام الميوزى Meiosis (أو Meiotic Division) عماد عملية التكاثر الجنسى ، ويعد الإلمام بخطواته ضرورياً لتفهم كثير من الأمور التى تبنى عليها قواعد توارث الصفات ، وقواعد تربية النباتات . ويتضمن الانقسام الميوزى (شكل ٢ -٣) انقسامين ، أولهما .. اختزالى ، وينتج منه خليتان ، تحتوى كل منهما على نصف عدد الكروموسومات ، وثانيهما .. ميتوزى ، يؤدى إلى مضاعفة عدد الخلايا الناتجة من الانقسام الأول ، دون أن يؤثر فى عدد الكروموسومات بها . وفيما يلى .. تفاصيل عملية الانقسام الميوزى (عن طنطاوى وحامد ١٩٦٢) :

١- الانقسام الميوزى الأول :

(أ) الدور التمهيدى الأول First Prophase :

(١) الدور القلادى Leptotene :

تظهر الكروموسومات على هيئة خيوط رفيعة جدا ، غير منشقة طولياً ، وموزعة فى



شكل (٢ – ٣) : خطوات الانقسام الميوزى (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

النواة بدون أى نظام .

(٢) الدور التزاوجى Zygotene :

يقترب كل كروموسومين متماثلين من بعضيهما حتى يصبحا زوجاً واحداً ، وتعرف هذه الظاهرة بـ الاقتران synapsis .

(٣) الدور الضام Pachytene :

تلتف أزواج الكروموسومات المقترنة حول بعضها وتعرف كل وحدة ثنائية الكروموسوم باسم bivalent ، ويكون عددها مساوياً للعدد الأحادى من الكروموسومات.. ويزداد قصر الكروموسومات ، كما تزداد فى السمك . وفى منتصف هذا الدور .. ينشق كل كروموسوم طولياً ، فيما عدا فى منطقة السنترومير ؛ وبذلك .. تصبح كل وحدة ثنائية الكروموسوم مكونة من أربع كروماتيدات ، كل اثنتين متصلتين بسنترومير واحد .

وتعرف الكروماتيدات المتصلة بسنترومير واحد بالكروماتيدات الشقيقة sister chromatids ، كما تعرف الكروماتيدات غير المتصلة بسنترومير واحد فى الوحدة الرباعية الكروماتيدات باسم الكروماتيدات غير الشقيقة .

يحدث – بعد الانشقاق الطولى للكروموسوم – أن تتبادل أجزاء متساوية بين كروماتيدتين غير شقيقتين فى الوحدة الثنائية الكروموسوم ؛ نتيجة لحدوث كسر فى كروماتيدتين غير شقيقتين فى نفس المستوى ، ثم حدوث التئام متبادل ، وهى الظاهرة التى تعرف باسم العبور crossing-over .

(٤) الدور الانفراجى Diplotene :

يتنافر الكروموسومان المتماثلان فى الوحدة الثنائية الكروموسوم عن بعضهما ، فيما عدا فى أماكن حدوث العبور ، التى تعرف باسم كيازمات Chiasmata (المفرد كيازمة chiasma) ، وتنفرج الكروموسومات بين الكيازمات مع نهاية هذا الدور ، كما تتحرك الكيازمات نحو أطراف الكروموسومات ، وهى الحركة التى تعرف باسم الانزلاق terminalization .

(٥) الدور التشتتى Diakinesis :

تظهر الوحدات الثنائية الكروموسوم أقصر وأسمك ، ومنتشرة فى السائل النووى ، ويؤدى استمرار ظاهرة الانزلاق إلى أن تبدو الكيازمات طرفية .

(ب) دور الوضع المتوسط الأول First Metaphase :

يتحلل الغشاء النووى والنوية ، ويختفيان ، وتتحرك الوحدات الثنائية الكروموسوم نحو

المحور الوسطى للخلية ، بحيث يكون سنتروميـر كل وحدة ثنائية الكروموسوم عموديين على المحور الوسطى .

(جـ) الدور الانفصالى الأول First Anaphase :

تنفصل كل كروماتيدتين شقيقتين عن الكروماتيدتين الأخريين فى الوحدة الثنائية الكروموسوم ، وتتجه السنتروميرات نحو القطبين المتضادين . وتعرف كل كروماتيدتين متصلتين بسنترومير واحد باسم وحدة ثنائية الكروموسوم dyad . ويؤدى ذلك إلى اختزال عدد الكروموسومات - فى كل قطب - إلى العدد الأحادى .

(د) الدور النهائى الأول First Telophase :

بعد وصول الوحدات الثنائية الكروموسوم إلى قطبى الخلية .. تبدأ الكروموسومات فى فقدان الشكل الذى كانت عليه ؛ حيث يفرد الحلزون جزئيًا ، وتلتف الخيوط الكروموسومية ، وتظهر النوية والغشاء النووى .

(هـ) الدور البينى Interphase :

تتحول الكروموسومات إلى الشكل المعروف فى السكون الكروموسومى ، وفى نوات الفلقة الواحدة .. تنقسم الخلية إلى خليتين ملتصقتين ببعضهما ، ولكن ربما لايحدث الانقسام السيتوبلازمى ، مع بقاء النواتين الجديدتين فى قطبى الخلية .

٢- الانقسام الميوزى الثانى

(أ) الدور التمهيدى الثانى Second Prophase :

تظهر الوحدات الثنائية الكروماتيدة طويلة نوعاً ، لكنها تنكمش تدريجيًا ، ويظهر تنافر واضح بين كروماتيدتى كل وحدة ، ثم تختفى النوية والغشاء النووى .

(ب) دور الوضع المتوسط الثانى Second Metaphase :

يظهر المغزل ، وتترتب الوحدات الثنائية الكروماتيدة فى المستوى الوسطى للمغزل . وفى نهاية هذا الدور .. ينشق السنترومير - أيضاً - طوليًا فى الوحدات الثنائية الكروماتيدة .

(جـ) الدور الانفصالى الثانى Second Anaphase :

تنفصل كروماتيدتا كل وحدة ثنائية الكروماتيدة ، ويتجه كل سنترومير إلى القطب المضاد، ساحبًا معه كروماتيدة واحدة ، تصبح بعد ذلك كروموسومًا ؛ وبذلك .. يتم توزيع الكروماتيدات الأربع التى كانت موجودة فى الوحدة الثنائية الكروموسوم على أربع نوايا .

(د) الدور النهائى الثانى Second Telophase :

تفقد الكروموسومات الخاصية التى كانت لها فى الدور السابق ، ويظهر الغشاء النووى والنوية ؛ وبذلك .. تتكون أربع نوايا جديدة ، بكل منها العدد الأحادى من الكروموسومات .

ويحدث بعد ذلك .. الانقسام السيتوبلازمى ، وتتكون أربع خلايا . وتعرف هذه الحالة - التى تكون فيها الخلايا الأربع متصلة ببعضها- باسم الحالة الرباعية quartet ، وتعرف كل خلية بأنها بوغه spore .

الزهرة

تعد الزهرة – بحق – مصنع المربى ، الذى يوجه إنتاجه نحو الغاية التى ينشدها من برنامج التربية ، ويحصل منه على الجيرمبلازم الذى يلزمه فى مراحل تحسين المحصول كلها ؛ لذا .. يعد الإلمام بتركيب الزهرة أمراً ضروريًا للمربى ؛ لكى يحسن تداولها .

يُعرِّف النباتيون الزهرة بأنها : فرع قصير لاتظهر به سلاميات واضحة ، ويحمل أوراقًا متزاحمة ، تحورت لغرض التكاثر . وتنشأ الزهرة – عادة – فى إبط ورقة ، تسمى قنابة bract ، قد تشبه الأوراق العادية ، أو تكون حرشفية ، أو ملونة . وقد تكون الزهرة جالسة sessile (أى بدون عنق) ، أو معنقة . وقد تظهر على عنق الورقة أوراق صغيرة ، تسمى قنيبات bracteoles . وقد يوجد فى قمة العنق جزء متضخم يعرف باسم التخت receptacle ، يحمل الأوراق الزهرية التى تنتظم فى محيطات ، وهى : الكأس، والتويج ، والطلع ، والمتاع .

١- الكأس والتويج .

يشكل الكأس والتويج – معًا – الأعضاء غير الأساسية للزهرة . ويعد الكأس calyx المحيط الخارجى للزهرة ، وهو يتركب من أوراق صغيرة خضراء تعرف باسم السبلات

sepals ووظيفته حماية الأجزاء الزهرية الأخرى فى البرعم الزهرى . وقد يكون الكأس متساقطاً - حيث تسقط السبلات بعد عقد الثمرة - أو مستديماً - حيث تنمو أوراقه مع الثمرة كما فى الطماطم - كما قد تكون السبلات منفصلة ، أو ملتحمة . ويوجد - أحياناً - محيط آخر خارج الكأس ، يتركب من أوراق تشبه السبلات ، ويعرف باسم فوق الكأس epicalyx . أما التويج corolla .. فإنه يتركب من عدد من الأوراق الملونة التى تعرف باسم البتلات petals ، تفيد فى جذب الحشرات فى حالات التلقيح الخلطى بالحشرات . وقد تكون البتلات هى الأخرى منفصلة ، أو ملتحمة ، وتأخذ أشكالاً عدة عند التحامها . وقد تتشابه أوراق الكأس والتويج معًا بدرجة كبيرة فى بعض النباتات - خاصة فى ذوات الفلقة الواحدة - ويعرفان - معًا فى هذه الحالة باسم الغلاف الزهرى perianth .

وقد أوضحت الدراسات الحديثة - نسبيًا - أن الكأس والتويج يؤديان دوراً جوهرياً - غير مباشر- فى التطورات التالية للإخصاب ، وأن إلحاق الضرر بهما - قبل تفتح الزهرة - يؤثر تأثيراً سيئًا فى عضو التأنيث gynecium بها ؛ ذلك لأنهما يفرزان بعض المركبات ، التى تعد مبادئ حيوية أساسية للتطورات التالية للإخصاب (Swamy & Krishnamurthy، ١٩٨٠) .

٢- الطلع :

يعد الطلع androecium عضو التذكير ، وهو يتكون من عدد من الأسدية stamens . تتركب كل سداة من جزء رفيع ، يعرف بالخيط filament ، يحمل فى قمته جزءاً منتفخاً هو المتك anther . وقد تكون الأسدية منفصلة ، أو ملتحمة بخيوطها ومتوكها سائبة ، أو العكس. كما قد تكون الأسدية ملتحمة مع البتلات ، وتعرف بأنها فوق بتلية epipetalous ، أو تكون منفصلة عنها .

يتركب المتك من فصين lobes طوليين ، يحتوى كل منهما على تجويفين طوليين ، يطلق على كل منهما اسم كيس لقاح pollen sac . يحتوى كل كيس على عدد من حبوب اللقاح pollen grains . وبالفحص المجهرى للقطاع المستعرض فى المتك .. نجد أن جدار المتك يتركب من طبقة البشرة الخارجية ، ثم طبقة ليفية fibrous layer ذات خلايا عمادية بجدرها تغليظ ليفى ، ثم عدد من الطبقات المتوسطة intermediate layers ، ثم الطبقة

الطرازية tapetal lagyer التى تحيط بالتجويف المشتمل على حبوب اللقاح ، وخلاياها غنية بالمواد الغذائية ، ووظيفتها مد حبوب اللقاح بالغذاء أثناء اكتمال تكوينها ، وعند تكون حبوب اللقاح تمر الخلايا الوالدة اللقاحية pollen mother cells بانقسام اختزالى ؛ فينشأ من كل منها أربع حبوب لقاح ، كل منها أحادية المجموعة الكروموسومية . وعند اكتمال نضج المتك يختفى الجدار الفاصل بين تجويفى كيس اللقاح فيصبح كل فص مشتملاً على تجويف واحد .

يعتمد تفتح المتك على أمرين : الأول هو أن التغليظ الليفى فى خلايا الطبقة الليفية لايوجد بالجدر الخارجية ، والثانى هو أن الطبقة الليفية ينعدم وجودها على طول الخط الذي يفصل بين كيسى اللقاح فى الفص ؛ فعندما تنضج حبوب اللقاح .. تجف طبقة البشرة الخارجية ، وكذلك الطبقة الليفية ؛ بسبب رقة جدرها الخارجية ، وتنكمشان ، ولكن نتيجة لتليف جدرها الأخرى .. فإنه يتولد ضغط ، يؤدى - فى النهاية - إلى انشقاق المتك فى منطقة الضعف ، وهى الخط الفاصل بين كيسى اللقاح فى كل فص على الجانبين ، ويتبع ذلك التواء جدر الفص إلى الخارج ، بقوة تشبه قوة انكماش اللولب ؛ مما يؤدى إلى تحرير حبوب اللقاح .

يوجد لكل حبة لقاح جداران ، أحدهما خارجى exine سميك ، والآخر داخلى intine رقيق . يوجد بالجدار الخارجى عدد من المواقع الرقيقة ، تعرف باسم ثقوب الإنبات pores . وتختلف الأنواع النباتية فى شكل حبة اللقاح ، إلاأنها تكون - غالبًا - كروية كما تختلف فى شكل سطحها الخارجى .

وتنقسم نواة حبة اللقاح إلى نواتين تكون إحداهما كبيرة وتسمى النواة التناسلية generative nucleus ، والأخرى صغيرة وتسمى نواة الأنبوبة tube nucleus .

٢- المتــاع :

يعد المتاع gynoecium هو عضو التأنيث ، وهو يتكون من كربلة واحدة ، أو عدد من الكرابل ، تتركب كل منها من المبيض ovary ، الذى يحتوى على البويضات ovules ، والقلم style الذى ينتهى بالميسم stigma ، وهو الجزء المعد لاستقبال حبوب اللقاح وتنشأ البويضات على نتوءات تبرز من السطح الداخلى للمبيض ، ويطلق على كل

منهـا اسـم المشيمة placentae . وقد يتركب المتـاع من كربلة واحـدة ، أو من عـدة كـرابل منفصـلة أو متحـدة . وعندمـا يتركب المتـاع من عـدة كرابل متحدة .. فـإنه يسمـى متـاعاً بسيطاً .

وقد يكون المبيض وحيد الغرفة وإن تعددت كرابل المتاع ، ويحدث ذلك عندما يكون اتحاد الكرابل عند حوافها المتجاورة خارجيًا ، دون أن تلتقى فى المركز . وقد يتكون المبيض من عدة غرف locules عند التحام الجدر الداخلية للكرابل مع بعضها، ويتساوى عدد الغرف فى هذه الحالة مع عدد الكرابل ، لكن الغرف قد تنشأ –أحياناً– نتيجة لنمو حواجز داخلية كاذبة من جدار المبيض ، كما فى ثمرة الكرنب .

تعرف طريقة توزيع المشيمات فى المبيض باسم الوضع المشيمى Placentation ، ويتساوى – غالبًا – عدد المشيمات مع عدد الكرابل فى المتاع . ويتراوح عدد البويضات فى المبيض من بويضة واحدة إلى عدة مئات . وتتصل البويضة بالمشيمة بواسطة الحبل السرى funicle ، وهى تتـركب من الكيس الجنينى embryo sac فى المركـز يحيط به نسـيج النيوسيلة nucellus . ويغطى نسيج النيوسيلة بغلافين بويضيين integuments ، ينفذ خلالهما ثقب ، يصل مابين سطح البويضة الخارجى وسطح النيوسيلة ، ويعرف باسم النقير micropyle . ويلتحم الغلافان البويضيان مع النيوسيلة عند قاعدة البويضة فى منطقة تعرف باسم الكلازا chalaza .

يتوقف شكل البويضة على شكل الكيس الجنينى وموضع النقير كما يلى :

(أ) البويضة المستقيمة Orthotropus : يقع فيها الحبل السرى ، والكلازا ، والنقير على استقامة واحدة (ويكون الكيس الجنينى مستقيما) ، ويكون النقير أبعد أجزاء البويضة عن المشيمة ، ويكون اتصال البويضة بالمشيمة عند الكلازا .

(ب) البويضة المقلوبة Anatropus : يقع فيها الحبل السرى ، والكلازا ، والنقير على استقامة واحدة كذلك ، إلا أن اتصال البويضة بالمشيمة يكون عند أحد جوانب الغلاف البويضى الخارجي ، ويقع النقير على جانب الحبل السرى مواجها للمشيمة .. وتلك هى أكثر أنواع البويضات شيوعًا .

(جـ) البويضة الكلوية Campylotropous : يكون فيها الكيس الجنينى منحنيا ، ويكون

اتصال البويضة بالمشيمة عند الكلازا ، ويقع النقير على جانب الحبل السرى مواجها للمشيمة.

توصف الزهرة حسب وضع المتاع بالنسبة للمحيطات الزهرية الأخرى كما يلى :

(أ) تحت متاعية Hypogynous : يكون فيها التخت الزهرى محدباً قليلاً ، ويُحمل المبيض على قمته ، بينما توجد بقية المحيطات الزهرية فى مستوى منخفض عن مستوى المبيض ؛ أى يكون المبيض علوياً .

(ب) محيطية المتاعية Perigynous : يكون فيها التخت الزهرى مفلطحاً ، وتترتب عليه الأجزاء الزهرية فى مستوى واحد تقريبًا ، كما قد يكون التخت الزهرى مقعراً ، ويضم المبيض داخله ، ويكون مستواه منخفضا عن مستوى بقية المحيطات الزهرية ، وتبقى الزهرة - بالرغم من ذلك - محيطية المتاعية ؛ لأن جدار المبيض لايكون ملتحمًا مع التجويف الداخلى للتخت الزهرى .

(جـ) فوق متاعية Epigynous : يكون فيها التخت الزهرى مقعراً ، ويحتوى على المبيض داخله ، ويكون الالتحام بينهما كاملاً ، أما بقية المحيطات الزهرية .. فإنها تكون فى متسوى مرتفع عن مستوي المبيض ؛ أى يكون المبيض سفليًا (عن عبد العزيز وآخرين ١٩٧٦).

دورة الحياة فى النباتات الزهرية

تمر دورة حياة النباتات الزهرية بطورين ، هما :

١- الطور البوغى :

يعد الطور البوغى Sporophytic Generation الطور السائد فى النباتات الزهرية ، وهو يبدأ بالزيجوت ثنائى المجموعة الكروموسومية ، وينتهى بتكوين الأبوا غ spores التى تكون أحادية المجموعة الكروموسومية .

٢- الطور الجاميطى Gametophytic Generation :

يُحْمَل هذا الطور على الطور البوغى فى كل من متوك الأزهار وأمتعتها ، وهو يبدأ بالأبواغ الأحادية المجموعة الكروموسومية ، وينتهى بالجاميطات gametes التى تكون

أحادية المجموعة الكروموسومية كذلك .

ونتناول – فيما يلى – خطوات عمليات تكوين الجاميطات المذكرة ، والمؤنثة ، والإخصاب ، وتكوين الجنين بشئ من التفصيل ؛ لمالها من أهمية كبيرة بالنسبة لتربية النبات .

تكوين الجاميطات المذكرة (حبوب اللقاح)

تتكون الجاميطات المذكرة – أى حبوب اللقاح – داخل الأكياس البوغية المذكرة microsporangia التى يوجد أربعة منها فى كل متك ، بواقع اثنين فى كل فص من فصى المتك. وتحتوى هذه الأكياس على خلايا النسيج البوغى archesporium ، التى تنقسم كل منها إلى خليتين بالانقسام الميتوزى . تستمر إحدى الخليتين الناتجتين فى الانقسام الميتوزى ، وتضم نواتج انقسامها إلى جدار الكيس البوغى المذكر ، بينما يتكون من الخلية الأخرى ومثيلاتها الخلايا البوغية المذكرة microspore mother cells (أو الخلايا الوالدة اللقاحية pollen mother cells) وهى ثنائية المجموعة الكروموسومية. ونظراً لأن نمو أنسجة جدار المتك يكون أسرع من نمو النسيج البوغى ؛ لذا .. يتكون فراغ داخلى يطلق عليه اسم كيس اللقاح pollen sac (يوجد منها أربعة أكياس فى كل متك) ، يكون مبطنًا من الداخل بالخلايا الطرازية المغذية .

يبدأ تكوين حبوب اللقاح بانقسام كل خلية من الخلايا الوالدة المذكرة الموجودة فى كيس اللقاح انقسامًا ميوزيًا ؛ لتعطى أربع خلايا أحادية المجموعة الكروموسومية ، يطلق عليها اسم الأبواغ المذكرة . تبقى الأبواغ الأربعة الناتجة من كل خلية والدة مذكرة متصلة ببعضها بجدر دقيقة لفترة قصيرة ثم تستدير ، وتنفصل عن بعضها ؛ وبذلك .. ينتهى الطور البوغى ، ويبدأ الطور الجاميطى المذكر .

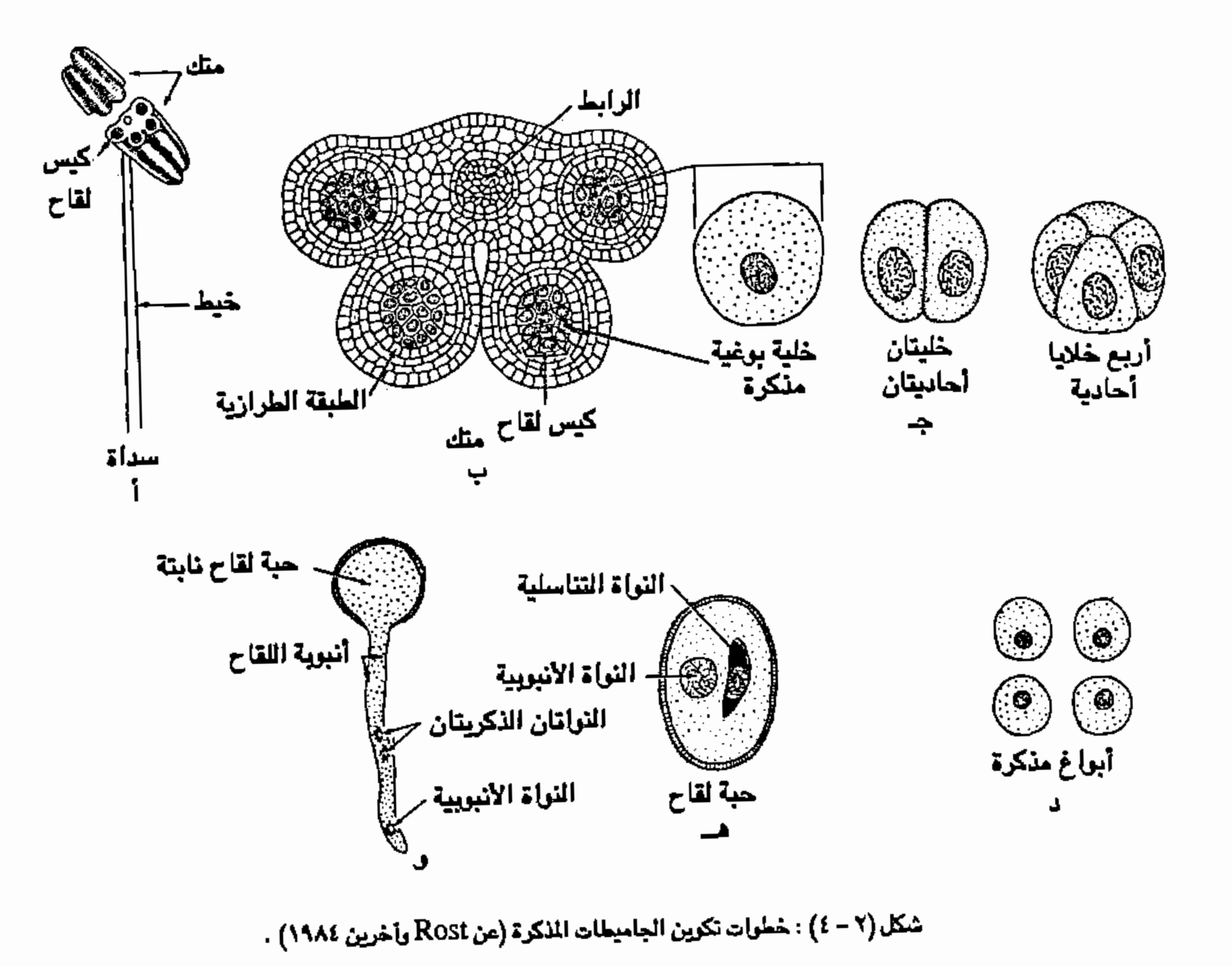
يلاحظ أن كل خلية بوغية مذكرة (حبة لقاح) تحاط بجدارين ، يكون الخارجى منهما سميكا ، وبه ثقوب ، يختلف عددها تبعًا للنوع النباتى ، أما الجدار الداخلى .. فيكون غشائيًا رقيقًا . وتتكون أنبوبة اللقاح pollen tube بنمو الجدار الداخلى ، من خلال أحد الثقوب التى توجد بالجدار الخارجى . ويسبق ذلك انقسام نواة الخلية البوغية المذكرة انقسامًا ميتوزيًا ، معطيه نواتين ، تكون إحداهما صغيرة ، وتعرف باسم النواة

التناسلية generative nucleus ، والأخرى كبيرة ، وتعرف باسم النواة الخضرية vegetative nucleus ، أو نواة أنبوبة اللقاح pollen tube nucleus . كما تنقسم النواة التناسلية - بدورها - انقساما ميتوزياً إلى نواتين تناسليتين ، لكن ذلك لايحدث - فى كثير من النباتات - إلا بعد تكوين أنبوبة اللقاح . ويعنى ذلك أنه يوجد دائماً ثلاث أنوية أحادية المجموعة الكروموسومية فى حبة اللقاح عند إنباتها . وتكون النواة الخضرية فى المقدمة دائماً ؛ لأنها تنظم نمو أنبوبة اللقاح ، وإذا حدث لها أى ضرر .. يتوقف نمو أنبوبة اللقاح (شكل٢ - ٤) .

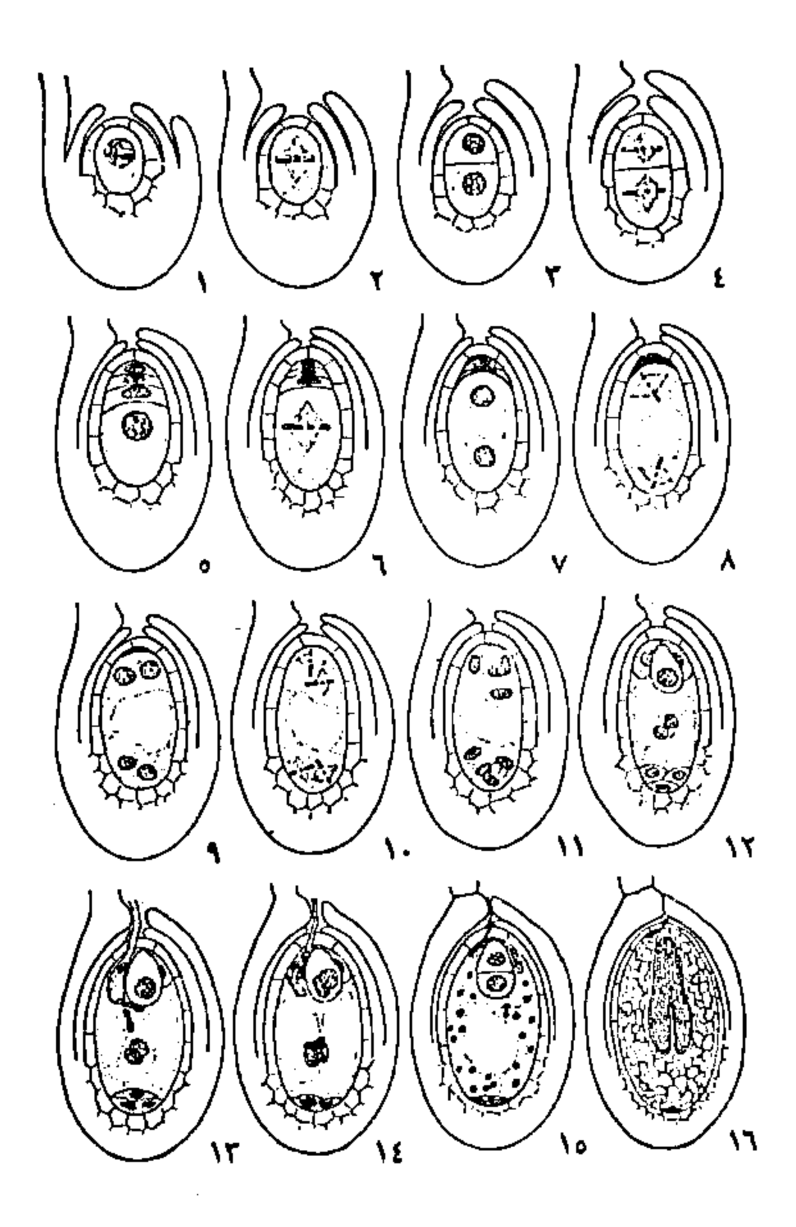
تكوين الجاميطات المؤنثة (البيضات)

تظهر النيوسيلة - عند بداية تكوين البويضة - على هيئة نتوء من المشيمة ، يتكون من مجموعة من الخلايا المتشابهة ، ثم تظهر عند قاعدة هذا النتوء حلقتان نسيجيتان ، تنموان لتكونا الغلافين البويضيين . تكبر إحدى خلايا النيوسيلة الواقعة تحت البشرة عند قمة النيوسيلة ، وتصبح خلية بوغية أمية archesporial cell . تنقسم هذه الخلية - ميتوزياً - إلى خليتين ، إحداهما خارجية وتكوّن النسيج المغذى ، والأخرى داخلية .. وتصبح الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة megaspore mother cell ، وهى ثنائية المجموعة الكروموسومية ، وتدخل فى انقسام ميوزى ؛ لتعطى أربع خلايا مرتبة رأسياً ، تكون كل منها أحادية المجموعة الكروموسومية (شكل ٢-٥) ؛ وبذا .. ينتهى الطور البوغى ، ويبدأ الطور الجاميطى المؤنث .

يبدأ الطور الجاميطى بكبر الخلية الأحادية الموجودة عند القطب الكلازى (المتجه إلى داخل النيوسيلة) ، بينما تتحلل الخلايا الثلاث الأخرى ، وتستنفذ محتوياتها بواسطة الخلية الطرفية ، التى تعرف - حينئذ - بالجرثومة الكبيرة Megaspore ، وهى التى يتكون منها الكيس الجنينى embryo sac . وتنقسم نواة الجرثومة الكبيرة (تسمى أيضا نواة الكيس الجنينى) إلى ثلاثة انقسامات ميتوزية متتالية ، دون تكون جدر خلوية . يعطى الانقسام الأول نواتين ، تتحركان إلى القطبين المتضادين ؛ حيث تنقسم كل منهما مرتين ؛ بذا .. يتواجد عند كل قطب من قطبى الكيس الجنينى أربع أنوية ، مغمورة فى سيتوبلازم الكيس الجنينى ، تكون كل منها أحادية المجموعة الكروموسومية . تتحرك - بعد ذلك - نواة واحدة من كل مجموعة ، نحو وسط الكيس الجنينى ، ويكون الكيس - فى ذلك الوقت - محاطا



شكل (٢ - ٤) : خطوات تكوين الجاميطات المذكرة (عن Rost وآخرين ١٩٨٤) .

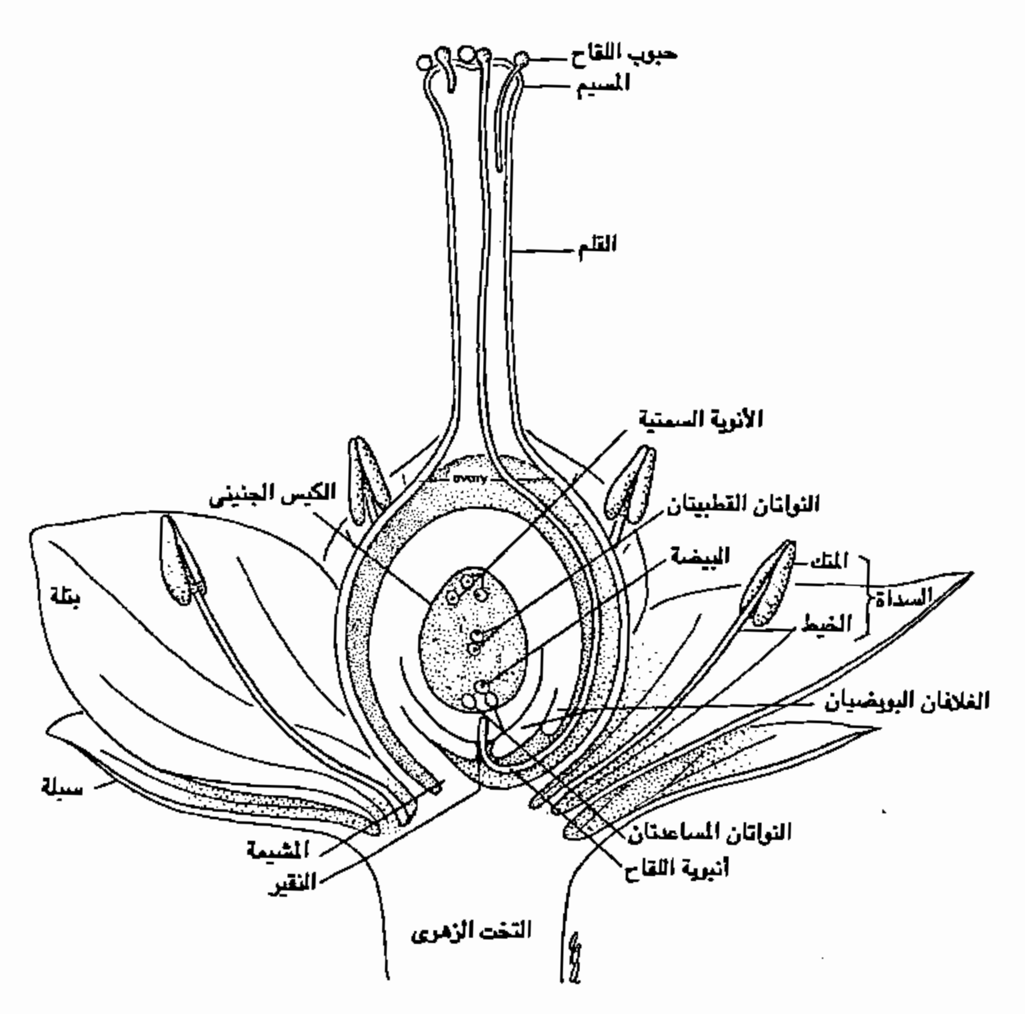


شكل (٢ – ٥) : خطوات تكوين الكيس الجنيني والإخصاب المزدوج وتكوين الجنين : (١ – ٥) الخطوات من بداية ظهور الخلية الوالدة للجرثومة الكبيرة ومرورها بانقسام ميوزى إلى حين تكون الجرثومة الكبيرة ، (٦ – ١٢) تكوين الكيس الجنيني بثلاثة انقسامات ميتوزية متتالية ، (١٣ – ١٤) الإخصاب ، (١٥) انقسام اللاقحة إلى خليتين ، وانقسام نواة الإندوسبرم الابتدائية إلى عدة أنوية حرة (١٦) تكوين الجنين .. يظهر بالشكل جنين الذرة (عن Briggs & Knowles ١٩٧٦) .

بغلافين بويضيين ، توجد بهما فتحة دقيقة ، وهى النقير . تصبح إحدى الأنوية الثلاث الموجودة عند القطب النقيرى البيضة egg الناضجة ، بينما تعرف النواتان الأخريان باسم النواتين المساعدتين synergids . وتعرف الأنوية الثلاث الموجودة فى القطب الآخر (القطب الكلازى) باسم الخلايا السمتية antipodal cells ، بعد أن تحاط كل منها بطبقة من السيتوبلازم وجدار خلوى . أما النواتان المركزيتان .. فإنهما تعرفان بالنواتين القطبيتين polar nuclei .

الإخصاب

تصبح البويضة مهيئة للإخصاب Fertilization عندما يكتمل تكوين الكيس الجنينى ، ويصاحب ذلك استعداد المياسم للتلقيح ، بإفرازها سكريات ، ومواد غذائية أخرى ، وهرمونات ، وتبدأ أولى خطوات الإخصاب بعد وصول حبة اللقاح إلى الميسم (وهى العملية التى تعرف باسم التلقيح Pollination ، بامتصاصها لحاجتها من المركبات التى يفرزها الميسم ، ثم تنمو منها أنبوبة لقاح ، تنتقل إلى نهايتها النواة الأنبوبية وتليها النواة التناسلية ، التى تنقسم إلى نواتين ذكريتين male nuclei ، إن لم تكن قد انقسمت قبل ذلك . تنمو أنبوبة اللقاح خلال أنسجة الميسم والقلم (إما بين الخلايا ، وإما داخلها ، ويختلف ذلك من نوع نباتى إلى آخر) ، حتى تصل إلى البويضة . وتتراوح هذه المسافة من ٢,٥مم إلى ٤٠-٥٠ سم كما فى الذرة ، ويستغرق نموها من ساعات قليلة - فى معظم النباتات - إلى يوم ونصف فى الذرة ، إلى عدة أسابيع كما فى البلوط (رغم أن طول الميسم والقلم فيه لايتعدى ٢مم) . تشق أنبوبة اللقاح طريقها بعد ذلك نحو النقير ، مستجيبة لجاذبية مادة تفرزها البويضة ، ويكون نموها أثناء ذلك على امتداد الجدار الداخلى للمبيض، إلى أن تصل إلى الكيس الجنينى، (شكل ٢-٦). حينئذ.. تتلاشى النواة الأنبوبية ، ويتمزق طرف أنبوبة اللقاح التى تفرز محتوياتها من سيتوبلازم ونواتين ذكريتين داخل الكيس الجنينى . وتتحد إحدى النواتين الذكريتين مع نواة البيضة ؛ لتكونا اللاقحة zygote ، التى تكون ثنائية المجموعة الكرموسومية ، وتتحد النواة الذكرية الثانية مع النواتين القطبيتين لتكوّن نواة الإندوسبرم الأولية ، التى تكون ثلاثية المجموعة الكروموسومية . وتعرف هذه العملية بالإخصاب المزدوج double fertiliztion . يلى ذلك .. اختفاء النواتين المساعدتين والخلايا السمتية ، ثم ينشأ الجنين ؛ بانقسام اللاقحة ، بينما تستنفذ النيوسيلة أثناء تكوين الجنين ، ويعمل الأندوسبرم على تغذية الجنين فى المراحل الأولى لتكوينه .



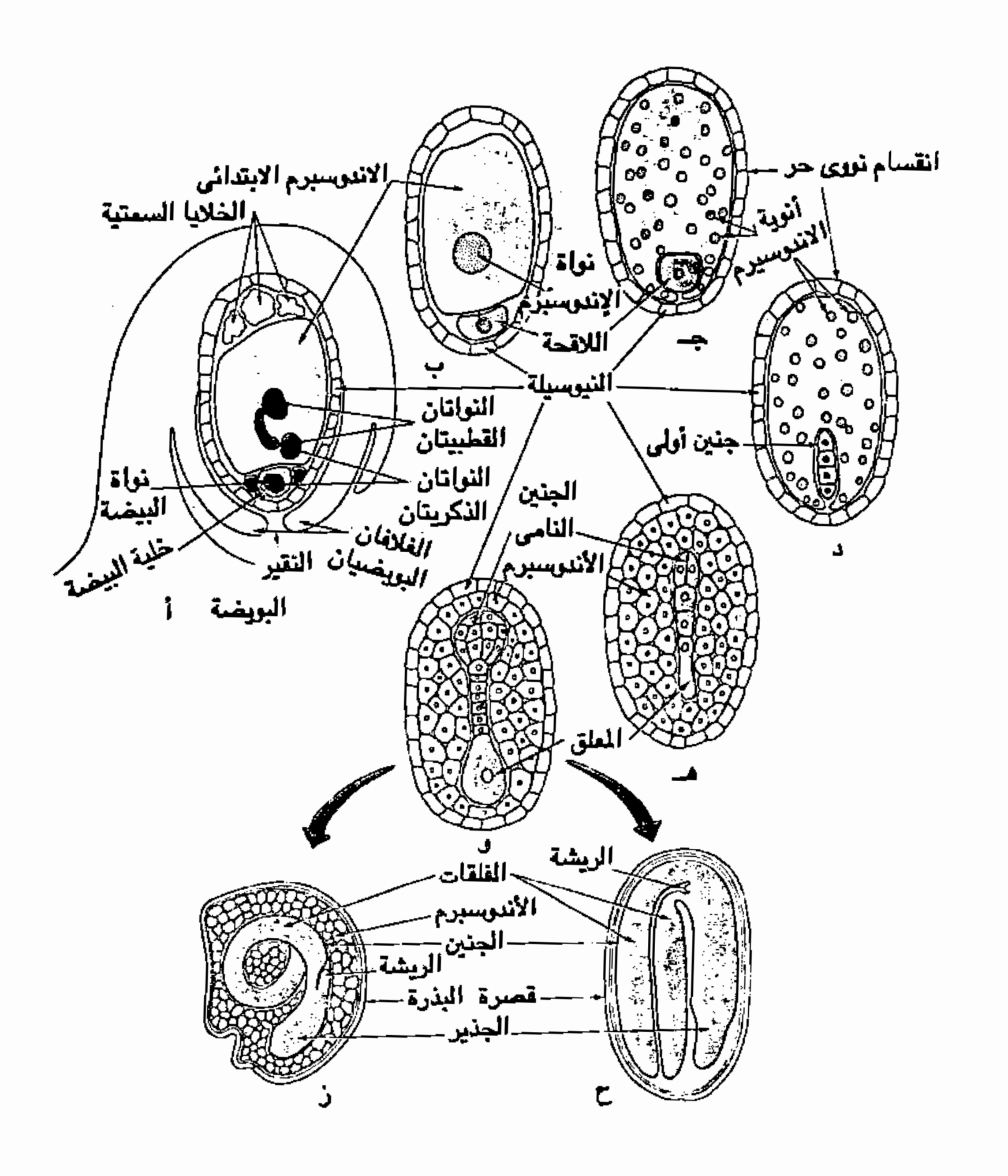
شكل (٢ – ٦) : أجزاء الزهرة وعملية الإخصاب .

تكوين الجنين

يبدأ تكوين الجنين (شكل ٢ – ٧) بعد عملية الإخصاب مباشرة ؛ حيث تنقسم اللاقحة إلى خليتين غير متساويتين ، تكون كبراهما هى الأقرب إلى النقير ، وتسمى الخلية القاعدية ، وهى التى تعمل على تثبيت الجنين فى بداية تكوينه ، أما الأخرى الصغيرة فإنها تنقسم عدة مرات ؛ لتكوّن صفًا من الخلايا . تعرف الخلية التى تقع فى نهاية هذا الصف – أى أبعد الخلايا عن النقير – بالخلية الجنينية embryonic cell ، وهى التى ينشأ منها الجنين الأصلى embryo proper ، بينما تشترك بقية الخلايا مع الخلية القاعدية فى تكوين المعلق suspensor ، الذى يدفع الخلية الجنينية فى نسيج الإندوسبرم . وتتميز الخلايا العليا – البعيدة عن النقير – الناشئة عن انقسام الخلية الجنينية إلى فصين ، يمثلان الفلقتين فى نباتات ذوات الفلقتين ، ويظهر بينهما تجويف ، تخرج منه الريشة plumule فيما بعد . أما الخلايا السفلية القريبة من النقير .. فينشأ منها الجذير radicle ، والسويقة تحت الفلقية hypocotyl (السويقة الجنينية السفلى) . أما فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة .. فإن الجنين يتكون من فلقة واحدة ، تقع على الجانب الملاصق للإندوسبرم ، ويحيط بكل من الجذير والريشة غمد . ويتكون الإندوسبرم – فى الوقت نفسه – بانقسام نواة الإندوسبرم انقسامات سريعة متوالية ، يعقبها تكوّن جدر تغلف الأنوية ، وما يحيط بها من سيتوبلازم .. وإما أن يبقى الإندوسبرم خارج الجنين شاغلا جزءاً من البذرة فتوصف بأنها إندوسبرمية endospermic ، وإما أن يستنفد أثناء تكوين الجنين – خاصة فى تكوين الفلقات – فتوصف البذرة بأنها لاإندوسبرمية . أما قصرة البذرة seed coat .. فإنها تتكون من الغلافين البويضيين (عبد العزيز وآخرون ١٩٧٦) . ويمكن الاطلاع على مزيد من التفاصيل المتقدمة ، الخاصة بمراحل النمو النباتى، من الزهرة إلى الثمرة ، من جوانبها التشريحية والتكوينية فى Swamy & Krishnamurthy (١٩٨٠).

ظاهرتا الزينيا والميتازينيا

تعرّف الزينيا Xenia بأنها : ظاهرة تأثير حبوب اللقاح على صفات البذور . ومن أبرز الأمثلة على ذلك .. تأثير حبوب اللقاح على صفات الإندوسبرم فى الذرة . وتفسر هذه الظاهرة من خلال فهمنا لعملية الإخصاب المزدوج ؛ حيث تخصب إحدى النواتين الذكريتين



شكل (٢ – ٧) : خطوات مقارنة البذرة فى كاسيات البذور (عن Weier وآخرين ١٩٨٤) .

النواتين القطبيتين ؛ لتكوّن نواة الإندوسبرم . ويظهر تأثير حبة اللقاح عندما تحتوى النواة الذكرية على جين سائد لإحدى صفات الإندوسبرم ، بينما تكون النواتان القطبيتان متنحيتين فى تلك الصفة ؛ حيث تظهر الصفة السائدة فى الإندوسبرم المتكون . ولهذه الظاهرة أهمية خاصة فى حقول إنتاج المحصول التجارى ، وإنتاج البذور فى كل من الذرة السكرية ، والذرة الشامية ؛ فيؤدى تلقيح نباتات الذرة السكرية – التى تكون أصيلة فى الجين المتنحى su ، الذى يجعل الإندوسبرم سكريًا – بحبوب لقاح من حقل ذرة شامية مجاور – تحمل الجين السائد Su الخاص بالإندوسبرم النشوى – إلى إنتاج حبوب يكون فيها الإندوسبرم ذا تركيب وراثى Su su su ، ونشويًا لايصلح للاستعمال كذرة سكرية ، بينما يكون جنين البذرة ذا تركيب وراثى خليط Su su ؛ وبذا .. لاتصلح البذور هى الأخرى كتقاوى ذرة سكرية . ويحدث الشئ ذاته عند تلقيح صنف من الذرة (الشامية أو السكرية) ذى بذور بيضاء بحبوب لقاح من صنف ذى بذور صفراء ؛ لأن جين اللون الأصفر سائد على جين اللون الأبيض . ومن الأمثلة الأخرى لظاهرة الزينيا .. تأثير حبة اللقاح على لون طبقة الأليرون alerone layer فى الذرة ؛ حيث يكون اللون القرمزى هو السائد ، وعلى شكل نواة ثمرة التمر ، وعلى صفات الجنين فى بعض الأحيان .

أما الميتازينيا Metaxenia فتعرف بأنها : ظاهرة تأثير حبة اللقاح على صفات أنسجة الثمرة ، وهى أنسجة أمية كلية ، ومن أمثلتها .. تأثير حبوب اللقاح على شكل الثمار فى التمر ، وحجمها ، وموعد نضجها . ومن الطبيعى أنه لايمكن تفسير هذه الظاهرة على أساس الإخصاب المزدوج ، بصورة مباشرة ؛ لأن أنسجة الثمرة تكون أمية . إلاّ أن W.Swingle عزاها إلى ذلك – ولكن بصورة غير مباشرة – بالنظر إلى أن الجنين والإندوسبرم ربما يفرزان –أثناء نموهما وتطورهما– هرمونات أو مواد شبيهة بالهرمونات ، يمكن أن تنتشر فى الأنسجة المحيطة بهما ؛ لتحدث التأثير المشاهد (بغدادى ١٩٥٥ ، Elliott ١٩٥٨).

التلقيح وأهميته فى تربية النبات

تتحدد كثير من الأمور فى برنامج التربية ، كما تتحدد طريقة التربية ذاتها بطريقة التلقيح الشائعة فى الطبيعة للمحصول المراد تربيته ؛ لذا .. فإن دراسة هذا الأمر – بشئ من التفصيل – يعد أمرا ضروريًا للمربى .

تقسم المحاصيل الاقتصادية التى تتكاثر جنسيًا - حسب التلقيح السائد - إلى ثلاث مجموعات كما يلى :

١- ذاتية التلقيح Self-pollinated .. وهى التى تقل فيها نسبة التلقيح الخلطى غالباً عن ١٪ ، وإن كانت تصل -أحياناً- إلى ٥٪ .
٢- خلطية التلقيح جزئيًا Partially cross-pollinated .. وهى التى تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطى على ٥٪ ، وقد تصل إلى ٩٠٪ .
٣- خلطية التلقيح بدرجة عالية .. وهى التى تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطى على ٩٠٪ .

وقد جرى العرف على تقسيم النباتات إلى نباتات ذاتية التلقيح ، ونباتات خلطية التلقيح ، إلا أن تمييز فئة النباتات الخلطية التلقيح جزئيًا ذو أهمية خاصة للمربى ؛ لأنها لاتتأثر كثيراً - وربما لاتتأثر مطلقاً - بالتربية الداخلية inbreeding (وهى عملية التلقيح الذاتى الصناعى الذى يقوم به المربى) ، بينما تتدهور النباتات التى تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطى على ٩٠٪ ، بدرجة متوسطة إلى شديدة بالتربية الداخلية ، ولكل ذلك اعتبارات ، لها أهميتها عند اختيار طريقة التربية المناسبة للمحصول ، كما سيأتى بيانه فى فصول لاحقة.

التلقيح الذاتى والعوامل المؤثرة عليه

يعرف التلقيح الذاتى self pollination الطبيعى (أو autogamy) بأنه انتقال حبوب اللقاح من متوك الزهرة إلى ميسم الزهرة نفسها . أما من وجهة نظر المربى .. فإن التلقيح الذاتى يتسع ليضم - أيضاً - حالات انتقال حبوب اللقاح ، من متوك الزهرة إلى ميسم أية زهرة أخرى على نفس النبات ، (تعرف هذه الحالة باسم geitonogamy) ، أو أية زهرة من أى نبات آخر من السلالة الخضرية ذاتها ؛ لأن جميع نباتاتها تكون متماثلة تمامًا فى تركيبها الوراثى . ويبدو أن حالات التلقيح الذاتى تعد أكثر تطوراً من حالات التلقيح الخلطى . يتطلب حدوث التلقيح الذاتى أن تحتوى الزهرة على أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث معًا ، وهو مايعرف باسم bisexuality ، وأن تنضج أعضاؤها الجنسية فى وقت واحد ، وهو ما يعرف باسم homogamy .

إن التلقيح الذاتى التام لأمر نادر الوجود ؛ حيث تحدث -غالبًا- نسبة من التلقيح

الخلطى ، قد تصل إلى ٥٪ ، وأهم الظواهر التى تساعد على حدوث التلقيح الذاتى ما يلى :

١- عدم تفتح الزهرة إلا بعد حدوث التلقيح والإخصاب ، وهى الظاهرة التى تعرف باسم Cleistogamy . وتعد هذه الظاهرة قليلة الانتشار ، وهى توجد فى أزهار النورات القاعدية لنبات عشب كاليفورينا الأزرق Calfornia blue grass (واسمه العلمى *Danthonia californica*) ، وهى النورات التى تختفى - كلية - تحت غمد الورقة ، إلى أن تنضج البذور .

٢- حدوث تطورات معينة فى الأزهار - أثناء عمليتى التلقيح والإخصاب - ، تحدث بموجبها عملية التلقيح الذاتى ، وتعرف هذه الحالات باسم Effective Cleistogamy ، وهى أكثر شيوعًا من الحالة السابقة . وهى توجد -على سبيل المثال- فى القمح حيث تفرغ المتوك محتوياتها من حبوب اللقاح ، قبل أن تبرز من الزهرة ؛ وبذا .. فإنها تكون فارغة ، ولاتتوفر - من ثم - أية فرصة لحدوث تلقيح خلطى . كما يكون التلقيح الذاتى شبه مؤكد فى الطماطم ، على الرغم من أنه لايحدث إلا بعد تفتح الزهرة ؛ ذلك لأن المتوك تلتحم معا وتكوّن أنبوبة متكية ، تحيط بالقلم والميسم إحاطة تامة ، وتمنع بموجبها أية فرصة للتلقيح الخلطى . إلا أن استطالة القلم ، ووصول الميسم إلى قمة الأنبوبة المتكية ، أو بروزه منها (وهو ما يحدث بصورة طبيعية فى بعض السلالات البرية من الطماطم ، وبعض الأنواع القريبة من الجنس *Lycopersicon* ، ونتيجة لتأثير بعض العوامل البيئية فى الأصناف التجارية) تؤدى إلى حدوث نسبة من التلقيح الخلطى عند توفر الحشرات الملقحة . وأهم وسائل انتقال حبوب اللقاح - فى حالات التلقيح الذاتى- هى التلامس بين المياسم والمتوك المتفتحة ، وقوة الجاذبية الأرضية ، عندما تكون المياسم فى مستوى أدنى من مستوى المتوك .

تتأثر نسبة التلقيح الخلطى فى النباتات الذاتية التلقيح بالعوامل التالية :

١- مدى توفر الحشرات الملقحة ودرجة نشاطها .

٢- مدى وجود التيارات الهوائية ، التى تساعد على انتشار حبوب اللقاح فى بعض النباتات .

٣- درجة الحرارة السائدة ؛ حيث قد يؤدى انخفاض الحرارة إلى أقل من درجة التجمد بقليل إلى موت حبوب اللقاح دون التأثير على البويضات ؛ مما يزيد من فرصة حدوث التلقيح الخلطى .

وترجع أهمية التلقيح الذاتى التام إلى مايلى :

١- يمنع التلقيح الذاتى التام حدوث خلط وراثى بين التراكيب الوراثية المرغوب فيها ، وغيرها من التركيب الوراثية ؛ وبذا .. يساعد على حفظ صفات الأصناف ، والسلالات ، والنباتات المنتجة .

٢- يؤدى التلقيح الذاتي إلى الإبقاء على الطفرات الضارة ، محصورة فى نسل النبات الذى ظهرت فيه الطفرة فقط .

٣- كما يؤدى التلقيح الذاتى المستمر إلى سرعة اختفاء الطفرات الضارة المتنحية ، وسيأتى شرح الأساس الوراثى لذلك فى فصل لاحق .

ومن أمثلة النباتات الذاتية التلقيح ما يلى :

١- محاصيل الحقل : القمح - الأرز - الزمير - الشعير - الكتان - الدخان - الفول السودانى - فول الصويا .

٢- محاصيل الخضر : الخس - الهندباء - الطماطم - البسلة - الفاصوليا العادية - اللوبيا - فاصوليا المنج .

٣- الفاكهة : الأصناف المحلية من التفاح والكمثرى والخوخ - معظم الأصناف الأجنبية من الخوخ- بعض أصناف البرقوق الأوروبى واللوز - أصناف قليلة من البرقوق اليابانى- معظم أنواع الموالح - السفرجل - النكتارين - المشمش - الكريز المر - العنب الأوروبى - العنب الأمريكى - الرمان - الجوافة - البشملة (Allard ١٩٦٤ ، Chaudhari ١٩٧١ ، عبد العال ١٩٧٧) .

التلقيح الخلطى والعوامل المؤثر عليه

يعرف التلقيح الخلطى cross-pollination أو allogamy بأنه انتقال حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم زهرة على نبات آخر . وتوجد أربع وسائل رئيسية لانتقال حبوب اللقاح من المتوك إلى المياسم فى حالات التلقيح الخلطى ، هى : الانتقال بالماء hydrophily فى النباتات المائية ، وبالحيوانات zoophily ، وبالهواء anemophily ، وبالحشرات entomophily . وتعد الوسيلتان الأخيرتان أهم وسائل التلقيح الخلطى فى النباتات الاقتصادية ، ولكل من النباتات الهوائية التلقيح والحشرية التلقيح خصائصها المميزة .

تتميز النباتات الهوائية التلقيح بأنها تنتج أعداداً ضخمة من حبوب اللقاح الصغيرة الجافة ، كما تتميز بأن أزهارها صغيرة وغير مميزة ، كما تكون مياسمها طويلة ، ومتفرعة، أو ريشية ؛ بغرض زيادة فرصة وصول حبوب اللقاح إليها ، ومن أمثلتها .. نباتات البكان ، والجوز ، والفستق ، والزيتون ، والكستنا (أبو فروة) ، والبندق ، والسبانخ ، والبنجر والسلق ، والذرة . يعتمد نجاح التلقيح فى هذه النباتات على إنتاجها أعداداً هائلة من حبوب اللقاح ؛ فنجد - مثلاً - أن نبات الذرة الواحد ينتج نحو ٢٥ مليون حبة لقاح ، أو حوالى ٢٥ ألف حبة لقاح لكل بويضة فى النورة المؤنثة ، أو حوالى ٦٨٠٠ حبة لقاح لكل سنتميتر مربع من سطح الأرض بالحقل .

أما النباتات الحشرية التلقيح .. فإما أن تكون أزهارها ذات بتلات كبيرة ملونة ، وإما أن تكون لها قنابات كبيرة ملونة لجذب الحشرات ، كما أنه توجد بها غدد رحيقية ، تفرز سكريات ، ومواد أخرى لجذب الحشرات . توجد هذه الغدد فى مكان معين من الزهرة ، يسمح بأن يلامس جسم الحشرة ميسم الزهرة ، عندما تقوم الحشرة بجمع حبوب اللقاح التى تكون كبيرة غالبًا ، ولزجة أحياناً ، ومن أمثلتها : عباد الشمس ، والقرطم ، والقنّب ، والخرشوف ، والبقدونس ، والروبارب ، والكرنب ، والبصل ، والجزر ، والقرعيات ، ومعظم أصناف البرقوق اليابانية والأمريكية ، والأزاليا ، والبنفسج ، وبعض أصناف الخوخ ، والكاكى ، والسابوتا .

يتأثر التلقيح الحشرى بعدة عوامل ، من أهمها ما يلى :

١- مدى تواجد الحشرات الملقحة ، وأعدادها بالنسبة للأزهار .

٢- العوامل البيئية التى تؤثر فى درجة نشاط الحشرات الملقحة . وتعد درجة الحرارة أهم هذه العوامل ؛ حيث ينخفض نشاط النحل بشدة فى درجة حرارة ١٠°م ، ولايمكنه الطيران فى درجة حرارة ٤,٤°م ، بينما يزداد نشاطه -تدريجيًا- بارتفاع الحرارة عن تلك الحدود .

٣- العوامل الوراثية التى يكون لها تأثير مباشر فى نسبة التلقيح الخلطى من خلال تأثيرها فى موضع الأزهار ، والحجم النسبى للأعضاء الجنسية فى الزهرة ، وسرعة الإزهار ووقت تفتح الزهرة ، ومدى جاذبيتها للحشرات (عن Fryxall ١٩٥٧) ؛ فنجد - على سبيل المثال - أن نسبة التلقيح الخلطى تختلف فى أصناف فاصوليا الليما من أقل من ١٪

لتصل إلى ١٠٠٪ ؛ ويرجع ذلك إلى الاختلافات الوراثية بين الأصناف ، كما تتأثر النسبة فى الصنف الواحد باختلاف الظروف البيئية . كذلك يعرف جين واحد مُتنحٍ فى فول الصويا ، يقلل من حيوية حبوب اللقاح ؛ مما يؤدى إلى زيادة نسبة التلقيح الخلطى من أقل من ١٪ ليصل إلى نحو ١٠٪ (Bernard & Jaycox ١٩٦٩) .

ويحدث التلقيح الخلطى فى النباتات ؛ نتيجة لتميزها بظواهر معينة ، تزيد بعضها من فرصة حدوث التلقيح الخلطى ، ويحتم البعض الآخر حدوثه كما يلى :

١- الظواهر التى تحتم حدوث التلقيح الخلطى :

يكون من المحتم حدوث التلقيح الخلطى فى الحالات التالية ؛ نظرا لاستحالة حدوث التلقيح الذاتى فى أى منها :

(أ) عندما يكون المحصول وحيد الجنس ثنائى المسكن dioecious ، أى توجد منه نباتات مذكرة ، وأخرى مؤنثة كما فى نخيل التمر ، والسبانخ ، والهليون .

(ب) عندما توجد ظاهرة العقم الذكرى male sterility ؛ حيث لايكون النبات قادراً على إنتاج حبوب لقاح ، أو أنه ينتج حبوب لقاح ضامرة ، وعديمة الحيوية .

(جـ) عندما توجد ظاهرة عدم التوافق الذاتى self-incompatibility ؛ حيث ينتج النبات حبوب لقاح خصبة ، إلا أنها تكون غير قادرة على إخصاب بويضات الزهرة نفسها أو أية زهرة أخرى على النبات نفسه .

٢- الظواهر التى تزيد من فرصة حدوث التلقيح الخلطى :

تزيد الظواهر التالية من فرصة حدوث التلقيح الخلطى ، ولكنها لاتحتم حدوثه :

(أ) ظاهرة استعداد المياسم للتلقيح ، وانتثار حبوب اللقاح بعد تفتح الزهرة Chasmogamy .

(ب) ظاهرة اختلاف مواعيد نضج أعضاء الزهرة الجنسية Dichogamy ، كأن تنضج المتوك ، وتنثر حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم لاستقبالها ، وهى الظاهرة التى تعرف باسم Protandary ، كما فى الجزر والبنجر ، أو أن تستعد المياسم لاستقبال حبوب اللقاح قبل تفتح المتوك ، وهى الظاهرة التى تعرف باسم Protogyny ، كما فى الأفوكادو ، وعلى

الرغم من أن التلقيح الذاتي للزهرة الواحدة غير ممكن في كلتا الحالتين .. إلا أنه لايوجد ما يمنع من حدوث التلقيح بين أزهار مختلفة من النبات نفسه .

(جـ) عندما يختلف مستوى الميسم ، بالنسبة لمستوى المتوك في الزهرة الواحدة ، وهي الظاهرة التي تعرف باسم Heterostyly .

(د) عندما يكون المحصول وحيد الجنس ، وحيد المسكن Monoecious ، وهي الحالة التي يحمل فيها نفس النبات أزهاراً مذكرة ، وأخرى مؤنثة ، وهو الأمر الذي يزيد -كثيراً- من فرص حدوث التلقيح الخلطي ، ولكنه لايمنع حدوث التلقيح الذاتي بين الأزهار المختلفة على النبات ذاته .

(هـ) وجود ظواهر خاصة ، أو عوامل وراثية معينة ، في أصناف دون غيرها ، كما سبق بيانه بالنسبة لفاصوليا الليما ، وفول الصويا . ومن أمثلة الظواهر الخاصة بالمحصول.. أن ميسم الزهرة في البرسيم الحجازي لايمكنه استقبال حبوب اللقاح ، إلابعد أن يتمزق الغشاء الذي يحيط به ؛ حيث تنمو الأسدية والمتاع داخل ورقة زهرية غشائية ، تحيط بهم تحت ضغط كبير ، إلى أن يتمزق هذا الغشاء بفعل حركة النحل عليه . حينئذ.. يندفع الميسم والأسدية نحو الخارج ؛ مما يؤدي إلى التصاق بعض حبوب اللقاح بجسم النحلة، وهو ما يساعد على حدوث التلقيح الخلطي حينما يزور النحل أزهاراً أخرى . يعد التلقيح الخلطي أكثر شيوعًا في المملكة النباتية من التلقيح الذاتي ، وفيما يلي .. أمثلة لحالات التلقيح الخلطي المختلفة :

١- محاصيل خلطية التلقيح جزئيًا ، وهي التي تتراوح فيها نسبة التلقيح الخلطي من ٥ إلى ٩٠٪ ، ومن أمثلتها القطن و الذرة الرفيعة و الفلفل والباذنجان والكرفس والفول الرومي وفاصوليا الليما والخيار والكوسة والشمام والبطيخ والشليك (وتعد المحاصيل الخمسة الأخيرة وحيدة الجنس ؛ وحيدة المسكن) .

٢- محاصيل خلطية التلقيح بدرجة عالية ، وهي التي تزيد فيها نسبة التلقيح الخلطي على ٩٠٪ ، ومن أمثلتها مايلي :

(أ) نباتات وحيدة الجنس ثنائية المسكن ؛ مثل : السبانخ والهليون والفستق والباباظ والنخيل .

(ب) نباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن ؛ مثل : الذرة والبكان والبندق وأبو فروة والعنب والجوز .

(جـ) نباتات غير متوافقة ذاتياً أو كلياً ، مثل : الزيتون ومعظم الأصناف الأمريكية من التفاح والكمثرى ومعظم أصناف البرقوق اليابانى والأوروبى والكريز الحلو وبعض أصناف اللوز والمانجو والزبدية (الأفوكادو) واللوز والكرنب والقنبيط وكرنب بروكسل والبروكولى والكولارد والكرنب الصينى والكيل وكرنب أبو ركبة والفجل واللفت والروتاباجا والبنجر والشيكوريا والبطاطا والشيلم .

(د) نباتات يوجد فيها تفاوت فى موعد نضج الأعضاء الجنسية بالزهرة ؛ مثل : الجزر والبصل .

وتوجد - بالإضافة إلى ماسبق بيانه - محاصيل يعتمد إنتاجها الاقتصادى على الإنسان الذى يقوم بعملية التلقيح الصناعى لها ؛ مثل النخيل ، والقشطة ، وبعض أصناف الجوز والبكان ، وبعض أصناف التين (وهو وحيد الجنس ثنائى المسكن) . كما توجد فواكه تتوالد بكرياً ، ولاتحتاج إلى تلقيح ؛ مثل الموز (وهو وحيد الجنس وحيد المسكن) و بعض أصناف التفاح والكمثرى والكاكى و الجميز و الأناناس (Allard ١٩٦٤، Bleasdale ١٩٧٣ ، عبد العال ١٩٧٧) . ولمزيد من التفاصيل عن طرق التكاثر وأسباب حدوث التلقيح الخلطى فى النباتات المزروعة .. يراجع Fryxall (١٩٥٧) .

تقدير نسبة التلقيح الخلطى

يتطلب الأمر لتقدير نسبة التلقيح الخلطى فى محصول ما .. أن تفحص الأجزاء الزهرية للنباتات - أولا - لتعرف إن كان بها أية ظاهرة من الظواهر التى تحتم التلقيح الذاتى ، أو تشجع عليه ، أو تلك التى تحتم التلقيح الخلطى ، أو تشجع عليه . كما تفيد زراعة النباتات التى تكون أزهارها كاملة (أى التى تكون بها أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث) مفردة فى معزل ، أو تكييسها ، لمنع وصول الحشرات الملقحة إليها ؛ لأنها إن لم تعقد بذوراً تحت هذه الظروف .. فإن ذلك يعنى أنها خلطية التلقيح فى الطبيعة ، أما إذا عقدت بذوراً .. فإن ذلك يعنى أن التلقيح الذاتى ممكن ، ولكنه ربما لايكون هو القاعدة تحت الظروف الطبيعية . وأفضل الأمثلة على ذلك .. النباتات الوحيدة الجنس ، الوحيدة المسكن الهوائية التلقيح ؛ فهذه النباتات قد تعقد بذوراً إذا زرعت فى معزل عن بعضها ، رغم أنها تكون خلطية التلقيح فى الطبيعة .

وتقدر نسبة التلقيح الخلطى فى محصول ما باختيار صنفين ، يتفقان فى موعد إزهارهما ، ويختلفان فى إحدى الصفات الوراثية البسيطة ، التى تعطى تأثيراً مظهرياً واضحاً فى طور البادرة ، ويزرعان متجاورين فى خطوط متبادلة . وتفضل أن تكون زراعتهما بالتبادل فى نفس الخط ، وفى الخطوط المتجاورة ؛ بحيث يكون كل نبات – من أى من الصنفين – محاطاً من الجهات الأربع بنباتات من الصنف الآخر . وتحصد البذور فى نهاية الموسم من نباتات الصنف الذى يحمل الصفة المتنحية ، ثم تزرع فى الموسم التالى ؛ فتكون كل النباتات الحاملة للصفة السائدة قد جاءت بذورها من تلقيح خلطى . وتحسب نسبة التلقيح الخلطى على حسبان أنها ضعف نسبة النباتات ، التى تكون حاملة للصفة السائدة ؛ ذلك لأن نباتات كل صنف تمثل نصف عدد النباتات فى الحقل ؛ فإذا وصل نبات معين من الصنف الذى يحمل الصفة المتنحية (aa) ١٠٠ حبة لقاح من الصنف الذى يحمل الصفة السائدة (AA) .. فمن المتوقع أن يصل إليه – أيضاً – ١٠٠ حبة لقاح من النباتات الأخرى التى تحمل الصفة المتنحية (وهو ما يعد تلقيحاً خلطياً كذلك) ، إلا أن التلقيح الخلطى مع النباتات التى تحمل الصفة السائدة .. يعطى نسلاً ذا تركيب وراثى Aa ، تظهر به الصفة السائدة ، بينما يعطى التلقيح الخلطى –مع النباتات التى تحمل الصفة المتنحية – نسلاً ذا تركيب وراثى aa ، لايمكن تمييزه عن النسل الناتج من التلقيح الذاتى .

الجنس فى النباتات

حالات الجنس

إن الأزهار إما أن تكون خنثى hermiphroditic (أيضاً bisexual ، و perfect ، وmonoclinous) ، وإما أن تكون مذكرة staminate (أيضاً male) ، وإما تكون مؤنثة pistillate . (أيضاً: female ، و carpellate) . أما النباتات .. فإنها تقسم – حسب حالة الجنس – إلى الفئات التالية :

١– نباتات تحمل أزهاراً كاملة فقط ؛ مثل : التفاح والكمثرى والخوخ والبرقوق والليمون والبرتقال واللوز والكرنب والفجل والجزر والكرفس والبطاطا والطماطم والفلفل والباذنجان والفول والبامية والبسلة والورد والأراولا والقرنفل والبنفسج والقمح والأرز .

٢- نباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن monoecious ، أى تحمل أزهاراً مذكرة ، وأخرى مؤنثة ؛ مثل : البكان والجوز والبندق وأبو فرورة والخيار والكوسة والذرة .

٣- نباتات تحمل أزهاراً كاملة ، وأخرى مذكرة andromonoecious ، كما فى بعض أصناف القاوون والبطيخ .

٤- نباتات تحمل أزهاراً كاملة وأخرى مؤنثة gynomonoecious كما فى بعض سلالات القرعيات .

٥- نباتات تحمل أزهاراً كاملة ، وأزهاراً مؤنثة ، وأزهاراً مذكرة trimonoecious كما فى بعض سلالات القرعيات .

٦- نباتات تحمل أزهاراً مذكرة فقط ، كما فى بعض سلالات الخيار .

٧- نباتات تحمل أزهاراً مؤنثة فقط ، كما فى بعض أصناف الخيار.

وبالإضافة إلى ماتقدم .. فإن العشائر النباتية لمحصول ما .. قد تكون من أى من الفئات السابقة الذكر (من ١-٧) ، أو قد تتكون العشيرة من نباتات مذكرة ، وأخرى مؤنثة أى تكون وحيدة الجنس ثنائية المسكن dioecious (كما فى السبانخ والهليون ونخيل التمر والكاكى وبعض أصناف عنب البسكات) ، أو قد تتكون من نباتات مذكرة ، ونباتات تحمل أزهاراً كاملة ؛ أى تكون androdioecious ، أو تتكون من نباتات مؤنثة، ونباتات تحمل أزهاراً كاملة ؛ أى تكون gynodioecious (Frankel & Galun ١٩٧٧) .

وراثة الجنس فى النباتات

تتنوع حالات تعيين ووراثة الجنس فى النباتات كما يلى :

١- السبانخ :

يتحدد الجنس فى السبانخ بكروموسومى الجنس X ، و Y ؛ حيث تكون النباتات المؤنثة XX و المذكرة XY . كما توجد جينات محوّرة على الكروموسومات الأخرى للنبات (وهى الكروموسومات الجسمية autosomes) ، يؤدى وجودها إلى ظهور حالات جنسية وسطية بين النباتات المذكرة والمؤنثة (عن Duvic ١٩٦٦) .

٢- الخيار المؤنث gynoecious cucumber :

يؤدى وجود عامل وراثى واحد سائد إلى تحويل الخيار من نبات وحيد الجنس وحيد

المسكن إلى نبات ينتج أزهاراً مؤنثة فقط .

٣- الهليون :

يعد الهليون من النباتات الوحيدة الجنس الثنائية المسكن . وتبعًا لدراسات Rick & Hanna (عن Ellison ١٩٨٦) .. فإن جنس الهليون يورث كما لو كان محكومًا بعامل وراثي واحد سائد لصفة الذكورة . كما أمكن التعرف على اختلافات سيتولوجية في زوج الكروموسوم الخامس للنبات ، ترتبط بحالة الجنس ؛ وبذا .. تعرف النباتات المؤنثة بأنها XX ، بينما تعرف النباتات المذكرة بأنها XY .

٤- الذرة :

تعد الذرة نباتاً وحيد الجنس ، وحيد المسكن . وقد ظهرت طفرة متنحية ، يؤدى وجودها فى حالة أصيلة bs bs إلى أن تصبح القولحة خالية من البنور barren stalk ، وتكون النورة المؤنثة خالية من الحريرة ، ومبايض أزهارها عقيمة ، ولاتنتج بها حبوب ؛ وبذا .. يصبح النبات مذكراً . كما ظهرت طفرة متنحية أخرى ، يؤدى وجودها فى حالة أصيلة كذلك ts ts إلى استبدال الأزهار فى النورة المذكرة بأزهار مؤنثة ، وينتج فيها حبوب ؛ وبذا .. يصبح النبات مؤنثاً ، وينتج حبوباً فى النورتين : الجانبية ، والطرفية . ويتفوق الجين ts فى تأثيره على الجين bs ؛ بحيث يمكن تميز التراكيب الوراثية والأشكال المظهرية التالية :

التركيب الوراثي	الشكل المظهر
Bs - Ts -	وحيد الجنس وحيد المسكن
bs bs Ts -	مذكر
Bs - ts ts	مؤنث
bs bs ts ts	مؤنث

ويعنى ذلك .. أنه يمكن إنتاج سلالة من الذرة وحيدة الجنس ثنائية المسكن ، تكون فيها النباتات المذكرة bs bs TS ts ، والمؤنثة bs bs ts ts ، ويكون النبات المذكر هو المسئول عن تعيين الجنس ؛ لأنه ينتج نوعين من الجاميطات . ويؤدى الإكثار من هذه السلالة إلى

المحافظة على نفس النسبة الجنسية فى النسل بشكل دائم (عن Burns ١٩٨٣) .

ويمكن الرجوع إلى مزيد من التفاصيل عن وراثة الجنس فى النباتات الوحيدة الجنس الثنائية المسكن فى Westergaard (١٩٥٨) .

النسبة الجنسية وأهميتها

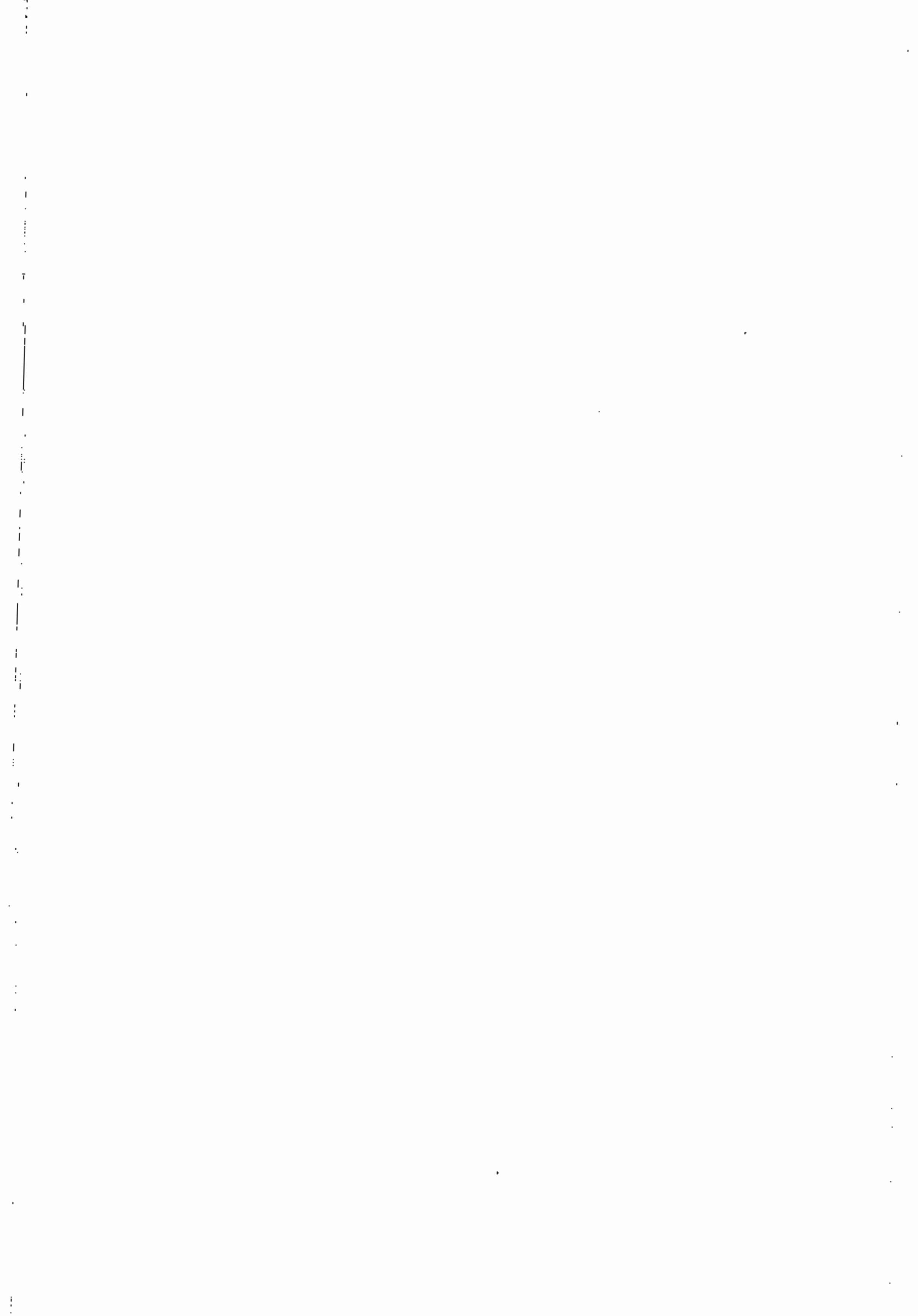
يعد عدد العقد على الساق – حتى ظهور أول زهرة مؤنثة ، أو خنثى فى القرعيات – من الصفات الوراثية الثابتة لكل صنف ، وكلما قربت أول عقدة تحمل زهرة مؤنثة ، أو خنثى من قاعدة الساق .. دل ذلك على ارتفاع نسبة الأزهار المؤنثة ، أو الخنثى إلى الأزهار المذكرة . وكل العوامل التى تزيد نسبة الأزهار المؤنثة تؤدى بطبيعة الحال إلى ظهور أول زهرة مؤنثة على عقدة أقرب لقاعدة الساق . وعلى العكس من ذلك .. فإن كل العوامل التى تزيد من نسبة الأزهار المذكرة .. تؤدى إلى ظهور أول زهرة مؤنثة على عقدة بعيدة عن قاعدة الساق. وترجع أهمية النسبة الجنسية إلى أن الأزهار المؤنثة هى التى تنتج الثمار ، وهي تتأثر بحالة النبات ، وبالظروف البيئية ، ومعاملات منظمات النمو .

فكلما كثر عدد الثمار التى يحملها النبات فى وقت واحد .. اتجه النبات نحو تكوين أزهار مذكرة . ونجد – بصفة عامة – أن ظروف الحرارة المنخفضة ، والإضاءة الضعيفة ، والنهار القصير .. تؤدى إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة ، بينما تؤدى ظروف الحرارة المرتفعة ، والإضاءة العالية ، والنهار الطويل إلى زيادة نسبة الأزهار المذكرة .

وتؤدى معاملة نباتات القرعيات – فى طور مبكر من النمو بالماليك هيدرازيد بتركيز ٢٥٠ – ٥٠٠ جزء فى المليون ، أو بالأوكسينات مثل نفثالين حامض الخليك NAA بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون ، و ٢ ، ٣ ، ٥ – ثلاثى يوديد حامض البنزويك 2,3,5 - triiodobenzoic acid بتركيز ٢٥ جزءاً فى المليون – إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة ، إلا أن أكثر منظمات النمو تأثيراً فى هذا الشأن هو الإيثيفون Ethephon ؛ حيث تؤدى رشة واحدة أو عدة رشات منه –بتركيز ١٢٥ – ٢٥٠ جزءاً فى المليون فى مراحل نمو وتكوين الورقة الحقيقية الأولى حتى الخامسة – إلى إحداث زيادة جوهرية فى نسبة الأزهار المؤنثة أو الكاملة ، بينما يقل –أو ينعدم– ظهور الأزهار المذكرة على العقد الخمس عشرة الأولى ، ثم تعود النباتات إلى حالتها الطبيعية بعد ذلك .

وتؤدى هذه المعاملة إلى زيادة المحصول المبكر ، والمحصول الكلى فى القرعيات ، خاصة فى المحاصيل التى تقطف ثمارها وهى صغيرة ؛ مثل الكوسة والخيار ، كما يمكن الاستفادة من التأثير الذى تحدثه هذه المعاملة عند إنتاج هجن القرعيات ؛ حيث تعامل نباتات خطوط الأمهات ، وتؤخذ البذور من الثمار التى تعقد أولا (de Wilde ١٩٧١)

وعلى العكس من التأثير الذى تحدثه منظمات النمو الى سبق ذكرها .. فإن معاملة القرعيات بحامض الجبرلليك GA، وبعض الجبرلينات الأخرى .. يؤدى إلى إحداث زيادة كبيرة فى نسبة الأزهار المذكرة . وتفيد هذه المعاملة عند إكثار بذور الأصناف المؤنثة gynoecious ؛ حيث تؤدى إلى جعل هذه الأصناف وحيدة الجنس وحيدة المسكن فى مراحل نموها الأولى ؛ وبذلك .. يمكن أن تعقد الثمار ، وتتكون فيها بذور تحمل أجنتها الصفة الوراثية للنباتات المؤنثة لزراعتها تجارياً . وتجدر الإشارة إلى أن هذه الأصناف ، إما أنها تعقد بكرياً ؛ فلاتحتاج إلى ملقحات فى الحقول التجارية ، وإما أن بذورها تخلط بنسبة ١٠-١٢٪ ببذور سلالة أخرى من الصنف نفسه ، ولكنها تكون وحيدة الجنس وحيدة المسكن ؛ لتوفير حبوب اللقاح اللازمة للتلقيح .



الفصل الثالث

الأساس الوراثى للعشائر النباتية

تعرف العشيرة Population بأنها أية مجموعة من الكائنات تنتمى إلى نوع واحد وتعيش مجتمعة ، أو تشترك فيما بينها فى صفة أو أكثر ؛ فتطلق – مثلاً – كلمة عشيرة على جميع الأسماك التى تنتمى إلى نوع واحد ، وتوجد مجتمعة فى بحيرة ، وعلى جميع النباتات التى تنتمى إلى نوع معين ، وتنمو برياً فى منطقة جغرافية معينة ، وقد كانت تلك أمثلة للعشائر الطبيعية natural populations . كما تطلق كلمة عشيرة على أفراد الجيل الأول ، أو الأجيال التالية له فى تهجين ما ؛ فيقال عشيرة الجيل الأول F_1 population (ترمز F إلى كلمة filal التى تعنى تتابعاً بعد جيل الآباء) ، وعشيرة الجيل الثانى F_2 population .. إلخ . وقد تكون العشائر لنباتات ذاتية التلقيح ، أو خلطية التلقيح ، أو خضرية التكاثر ، كما قد تكون لجيرمبلازم محسن بوسائل التربية مثل العشائر التركيبية (المخلقة) synthetic populations .. إلخ .

يهتم المربى – بطبيعة الحال – بوصف العشيرة مظهرياً ، أو مورفولوجياً ؛ كما يتعين عليه أن يكون ملماً بالأساس الوراثى للتباينات المظهرية المشاهدة ، وهو ما يقودنا إلى دراسة طبيعة الاختلافات ، أو التباينات فى النباتات .

الإختلافات فى النباتات

أنواع الإختلافات وأهميتها

تعد الاختلافات المشاهدة بين أفراد النوع الواحد الأساس فى استمرار بقائها ، وفى

تطورها ، وفى تحسينها بالتربية ؛ فلولا هذه الاختلافات – لهلكت الأنواع النباتية منذ أمد بعيد ، لدى تعرضها لظروف بيئية قاسية ، أو إصابتها بآفات ، يمكن أن تقضى عليها ، ولما ارتقت وتطورت ؛ لأن التطور لايحدث إلا مع الانتخاب الطبيعى ، الذى يعتمد على توفر الاختلافات ، ولما أمكن تحسينها بالتربية التى لا تجرى هى الأخرى إلا فى وجود الاختلافات ؛ ويعنى بذلك كله الاختلافات الوراثية genetic variations وهى الاختلافات التى تورَّث للنسل ، ويتحكم فيها عوامل وراثية (جينات أو مورثات) معينة أما الاختلافات التى ترجع إلى تأثير البيئة على الشكل المظهرى للفرد – أو الاختلافات البيئية environmental varations – فإنها لاتورَّث ، ولايكون لها أى دور فى تطور النوع أو فى تحسين المحصول بالتربية ، ومن أمثلتها .. كافة التأثيرات المظهرية التى تحدثها أى من العوامل البيئية فى النباتات ، سواء أكانت تلك العوامل مناسبة للنمو ، أم غير مناسبة . ويطلق على الحالات التى تغير فيها البيئة من الشكل المظهرى للفرد – بحيث يصبح مماثلاً تماماً مظهرياً للأفراد الحاملة للعوامل الوراثية التى تتحكم فى هذه الصفات المظهرية – اسم المظاهر النسخية phenocopies . ومن أمثلتها نباتات البسلة القصيرة ، التى تصبح طويلة لدى معاملتها بالجبريللين ؛ فهى تعد مظاهر نسخية للنباتات التى تحمل العامل الوراثى الخاص بصفة الطول ، ويكون نسلها قصيراً .

وتقسم الاختلافات المشاهدة – كذلك – إلى اختلافات وصفية qualitative variations ، واختلافات كمية quantitative variations . ويعنى بالاختلافات الوصفية تلك التى يمكن تقسيمها إلى أقسام ، توجد بينها حدود واضحة مثل صفة المقاومة للآفات حينما يكون النبات مقاوماً أو غير مقاوم ، وصفة اللون حينما تكون الثمرة صفراء أو حمراء ، وصفة الطول حينما يكون النبات طويلاً ، أو قصيراً ، وتكون هذه الصفات بسيطة فى وراثتها – عادة – وقليلة التأثر بالعوامل البيئية . أما الاختلافات الكمية .. فإنها تشمل الصفات التى تظهر تدرجاً كبيرا ، بحيث يستحيل تقسيم النباتات إلى فئات مميزة توجد بينها فواصل واضحة.وتقاس هذه الصفات – عادة – بالطرق الكمية (مثل مقاييس الطول ، والحجم ، والوزن ... إلخ) ، وتتضمن أكثر الصفات الاقتصادية الهامة ؛ مثل كمية المحصول ، وقوة النمو ، وموعد التضج ، ويتحكم فى كل منها – عادة – أكثر من عامل وراثى واحد ، ويكون تأثرها بالعوامل البيئية كبيراً . وكمثال على اختلاف تأثر

الصفات الوصفية والكمية بالعوامل البيئية .. نجد أن لون الزهرة – وهى صفة وصفية – لايختلف باختلاف الظروف البيئية التى ينمو فيها النبات (إلا فى حالات قليلة ، يمكن أن يتفاعل فيها أحد العوامل البيئية مع التركيب الوراثى للفرد ، لإظهار لون معين) ، بينما نجد أن قوة النمو – وهى صفة كمية – تتأثر بشدة بالعوامل البيئية السائدة ، سواء أكانت جوية ، أم أرضية .

هذا .. ولاتوجد – أحيانا – حدود مميزة بين ما يمكن اعتباره صفات وصفية ، وما تعد صفات كمية . فصفة اللون .. قد تظهر بها كل التدرجات ؛ من الأبيض الناصع إلى الأسود القاتم ، وصفة المقاومة للأمراض .. قد تتدرج من القابلية التامة للإصابة إلى المقاومة التامة . وإذا كان الأمر كذلك .. فإن هذه الحالات تعد – من وجهة نظر المربى – من الصفات الكمية ؛ لأنها تتماثل مع الصفات الكمية فى متطلباتها . كما يمكن – فى كثير من الأحيان – تقسيم النباتات حسب موعد النضج – وهى صفة كمية – إلى مبكرة ، ومتوسطة ، ومتأخرة ، ولكنها تبقى – بالرغم من ذلك – صفة كمية من وجهة نظر المربى . ويطلق على مثل هذه الصفات الكمية ذات التوزيع غير المستمر اسم Threshold characters وقد تكون الصفة وصفية ، ولكنها تقاس – كمياً – مثل صفة الطول فى البسلة ؛ حيث يمكن تقسيم النباتات إلى فئتين متميزتين : قصيرة وطويلة .. ورغم وجود تدرج فى أطوال النباتات فى كل فئة منهما .. إلا أنه يوجد – دائما – حد واضح ، يفصل بين أطول النباتات القصيرة ، وأقصر النباتات الطويلة ؛ ولذا تظل الصفة وصفية من وجهة نظر المربى .

التفريق بين الاختلافات البيئية والوراثية

يتعين على المربى - دائما – أن يميز بين الاختلافات البيئية والاختلافات الوراثية فى برامج التربية ؛ لأن الاختلافات الوراثية فقط هى التى تُوَرَّث إلى النسل ، وهى التى يمكن الاستفادة منها فى تحسين المحصول . وقد يضيع على المربى موسم زراعى كامل ، أو انعزالات قيمة ، إن لم يمكنه التمييز بين الاختلافات التى ترجع إلى تأثير البيئة ، وتلك التى يتحكم فيها التركيب الوراثى للفرد ، ومن أمثلة ذلك .. انتخاب نبات خال من الإصابة بمرض ما ، على اعتبار أنه مقاوم ، بينما هو قد أفلت من الإصابة ، لأسباب بيئية مثل عدم وصول المسبب المرضى إليه ، أو عدم توفر الظروف البيئية المناسبة لظهور الإصابة ،

أو انتخاب نبات قوى النمو يوجد فى آخر الخط على اعتبار أنه يحمل العوامل الوراثية الخاصة بقوة النمو ، بينما قد ترجع قوة نموه إلى توفر مجال أوسع لنموه حيث يوجد فى نهاية الخط .

يعد اختبار النسل Progeny test الوسيلة الوحيدة المؤكدة للحكم على نوعية الاختلافات المشاهدة ، من حيث كونها بيئية ، أو وراثية . ويجرى الاختبار بتلقيح النباتات المنتخبة ذاتياً ، وحصاد بذورها كل على حدة ، ثم زراعة نسل كل نبات منها فى الموسم التالى فى خط واحد ، أو فى ٣ - ٥ خطوط قصيرة موزعة عشوائيا ، ويُعد ظهور الصفة التى انتخب النبات على اساسها - فى نسله - دليلاً مؤكداً على أنه يتحكم فيها عوامل وراثية ، ولاترجع إلى أسباب بيئية ، ولكن نظراً لأن اختبار النسل يعد اختبارا مكلفاً ويتطلب كثيراً من الوقت والجهد ؛ لذا .. كان على المربى أن يعتمد على المنطق الاستدلالى لاستبعاد أكبر قدر من الاختلافات التى تدل الشواهد على أنها اختلافات بيئية ، وأن يقصر اختبار النسل على الاختلافات التى تجمع الأدلة على أنها اختلافات وراثية . ومن أهم هذه الشواهد والأدلة - التى يجب أخذها فى الحسبان عند التميز بين الاختلافات الوراثية والبيئية - طبيعة الاختلافات المشاهدة ، وتوزيعها فى الحقل ، ومدى تأثر الصفة المعنية بالعوامل البيئية ؛ وذلك لأن الاختلافات النوعية تكون أقل تأثرا بالعوامل البيئية عن الاختلافات الكمية ، ولأن تجمع النباتات التى تظهر بها الصفة المعنية فى مكان واحد من الحقل .. يكون دليلاً قويًا على أن الاختلافات المشاهدة بيئية وليست وراثية . كما أن توفر الاختلافات الوراثية يعتمد - إلى حد كبير على طريقة تكاثر المحصول ، وعمر الصنف ، ومدى العناية التى يعطاها ؛ ذلك لأن أهم مصادر الاختلافات الوراثية هى الطفرات والانعزالات الوراثية ، وتكون الطفرات - وهى بنسبة منخفضة - المصدر الوحيد للاختلافات الوراثية فى المحاصيل التى تتكاثر خضريا ، بينما يتوفر كلا المصدرين للاختلافات الوراثية فى المحاصيل التى تتكاثر جنسيًا ، والتى تزيد فيها فرصة ظهور الإختلافات الوراثية عما فى المحاصيل التى تتكاثر خضريا . وكلما ازداد عمر الصنف .. ازداد تراكم الطفرات به وازداد - من ثم - احتمال ظهور الاختلافات الوراثية فيه . وأخيراً فإن فرصة ظهور الاختلافات الوراثية تكون أكبر فى الاصناف غير المحسنة ، وفى الزراعات القديمة غير المعتنى بنقاوتها من النباتات المخالفة للصنف (من نفس النوع المحصولى) مما فى الزراعات الحديثة ، أو المعتنى بها .

وغنى عن البيان .. أنه توجد اختلافات يعرف المربى - سلفاً - أنها اختلافات بيئية ؛ لأنها تحدث عند تعريض النبات لمعاملات خاصة ؛ مثل : تحول نبات الخيار الانثوى إلى وحيد الجنس وحيد المسكن لدى معاملته بالجبريللين ، وقوة النمو غير العادية التى تظهر فى نباتات الجيل الأول M_1 لمعاملات الإشعاع ، والتغيرات التى تنشأ أحياناً نتيجة للتطعيم ، والتى من أمثلتها (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) نباتات الدخان الخالية من النيكوتين ، التى تكون مطعمة على أصول من الطماطم ، ونباتات الطماطم المحتوية على النيكوتين التى تكون مطعومة على أصول من الدخان ؛ لأن النيكوتين يصنع فى الجذور ، ثم ينتقل منها إلى النموات الخضرية . كما يعرف - أيضا - أن تطعيم البطاطس المزروعة على أصول من النوع البرى *Salonun demissum* يؤدى إلى زيادة محصول درنات النوع البرى (الأصل) من ١٧-١٠ جم أصيص إلى ١٣٠ - ١٤٢ جم/ أصيص ، وقد تحدث زيادة أكبر فى محصول درنات النبات البرى لدى تكرار تطعيم البطاطس المزروعة عليه مرة أخرى - كما أن الدرنات الناتجة من هذا التطعيم .. تنبت بسرعة أكبر ، وتعطى نباتات أبكر إزهاراً من النباتات التى تنتج من زراعة الدرنات العادية للنوع البرى ، التى انتجت دون تطعيم ، ولكن محصولها يصبح عادياً ومتماثلاً وتختفى كل التأثيرات التى سبق أن أحدثها التطعيم فى جيل الإكثار الخضرى التالى .

مصادر الاختلافات الوراثية

يمكن حصر المصادر الرئيسية للاختلافات الوراثية فيمايلى :

١- الطفرات Mutations :

تعد الطفرات المصدر الرئيسى للاختلافات المشاهدة فى الصفات ولايمكن بدونها - مشاهدة أى نوع من الاختلافات بين الأفراد . وتزداد الاختلافات بين الأفراد مع ازدياد الطفرات بها . ونجد - أحيانا - أن طفرة واحدة فى أحد الجينات تعنى الفرق بين محصول وآخر ، مثلما هى الحال فى الذرة الشامية التى تحتوى على الجين Su للإندوسبرم النشوى والذرة السكرية التى تحتوى على الأليل su للإندوسبرم السكرى . كما لايختلف الكرنب البرى عن كل من الكرنب المزروع ، والقنبيط ، وكرنب بروكسل ، وكرنب أبو ركبة ، والبروكولى ، سوى فى طفرة واحدة فى جين مسئول عن تحورات ضخمة ، أو طفرات فى عدد قليل من الجينات . ولولا تدخل الإنسان لانتخاب هذه الطفرات .. لما عاشت لأنها تمثل

تحورات نباتية كبيرة عن الحالة البرية الأصلية ، التى لاتزال موجودة فى المناطق الساحلية من أوروبا وشمال أفريقيا .. ويخصص للتربية بالطفرات فصل مستقل من هذا الكتاب .

٢- الانعزالات الوراثية Genetic Recombinaons :

بينما تحدث الطفرات بمعدلات منخفضة للغاية - فى جميع النباتات أياً كانت طريقة تكاثرها - فإن الانعزالات الوراثية لاتحدث إلا عندما يكون التكاثر جنسياً وتنشأ عنها تباينات عديدة بين الأفراد فيما تحويه من صفات . ولكن هذه الانعزالات لاتحدث إلا فى وجود الطفرات ؛ أى لاتحدث إلا فى وجود أكثر من آليل allele للجين الواحد (مثلاً يعد زوج الجنيات D ، و d فى البسلة آليلَيْن لجين واحد حيث يتحكم الآليل السائد منهما D فى صفة النبات الطويل ، بينما يتحكم الآليل المتنحى d فى صفة النبات القصير ، كما يعد العامل الوراثىW - الذى يتحكم فى لون الأزهار البنفسجى فى البسلة أيضاً - جيناً آليلياً للعامل w ، الذى يتحكم فى لون الأزهار البيضاء ، ولكن العوامل الوراثية W ، D تعد جينات غير آليلية ؛ أى جينات مستقلة ، توجد على مواضع مختلفة من الكروموسومات) . وكلما ازدادت الاختلافات الوراثية بين الأفراد التي تتهجن مع بعضها ازدادت الانعزالات التى تظهر فى النسل . وقد شُرِحَ موضوع الانعزالات الوراثية - بالتفصيل - فى جزء آخر من هذا الفصل ؛ لما له من أهمية كبيرة بالنسبة لتربية النبات

٣- التضاعف Ploidy :

يعد التضاعف الذاتى والهجينى .. أحد المصادر المهمة للاختلافات الوراثية ، وقد خصص للتربية بالتضاعف فصل مستقل من هذا الكتاب .

٤- الهجن النوعية Interspecific Hybrids :

تعد الهجن النوعية - كذلك - إحدى المصادر المهمة للاختلافات الوراثية ، وقد أُفرِدَ لها فصل مستقل أيضاً . تفيد الهجن النوعية - غالباً - فى نقل صفات هامة (خاصة صفات المقاومة للآفات والتأقلم على الظروف البيئية القاسية) من نوع الآخر ، خاصة من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة ، وقد يؤدى الهجين النوعى إلى إنتاج نوع نباتى مستقل ، يزرع كمحصول جديد ، مثل الشليك ، الذى نشأ كهجين نوعى بين النوع البرى *Fragaria virginiana* ، الذى ينمو على الساحل الشرقى من أمريكا الشمالية ، والنوع

البـرى *F . chiloensis* ، الذى ينمو على ساحل المحيط الهادى . أجرى التهجين الأول بين النوعـين الزرَّاع الإنجليـز ، منذ أكثـر من ١٧٥ عـامـاً ، وأمكن من خـلال مـزيد من التهجينات فى النسل – مع انتخاب النباتات المرغوب فيها – الجمع بين صفة الإثمار والنوعية الجيدة التى توجد فى النوع *F . virginiana* ، وصفة الثمار الكبيرة الحجم التى توجـد فى النوع *F . chiloensis* ؛ وبذا ظهـــرت الطرز الجـــديدة من الشليك المزروع *F . × ananassa* . ولاريب فى أنه حدثت فى الماضى تهجينات نوعية عديدة ، أعقبتها تهجينات رجعية متتالية للهجين النوعى ، ونسله مع أحد أبويه أو كليهما – كل على انفراد – نتج عنها فى نهاية الأمر نقل بعض الصفات من أحد النوعين إلى النوع الآخر ، دون أن يؤثـــر ذلك فى الوضع التقسيمى للأنـــواع المهـــجنة . وتعرف هـــذه الحالات باسم introgression hybridization وقد يصعب معرفتها فى كثير من الأحيان ، التى لاينتقل فيها سوى عدد محدود من الجينات من نوع إلى آخر ، وأقصى ما يمكن التوصل إليه حينئذ هو التكهن بأن ذلك قد حدث فى الماضى .

وراثة الصفات البسيطة

إن الصفات البسطة هى التى يتحكم فيها عامل وراثى واحد ، يكون ذا تأثير واضح ومحدد على الشكل المظهرى للفرد ، وهى الصفات التى تنعزل فى الجيل الثانى بنسبة ٣ سائد : ١ متنح (فى حالة السيادة التامة) ، وتنعزل فى التلقيح الاختبارى test cross (أى فى التلقيح بين الجيل الأول ، والأب المتنحى فى الصفة) ، بنسبة (ا)سائد : (١) متنح . تكون الصفات البسيطة نوعية دائماً ، حتى لو أمكن قياسها كمياً ، وذلك لأنـــها تتمـيز – غالباً – بوجود حدود فاصلة فى الشكل المظهرى بين الأفراد المختلفة وراثيا عن بعضـــها ، فمثلا قد يوجد تفاوت فى أطوال نباتات البسلة ؛ نتيجة لتأثرها بالظروف البيـئية ، ولكن يمكن – دائما – التميز بين أطول النباتات القصيرة ، التى يكون تركيبها الوراثى dd ، وأقصر النباتات الطويلة التى يكون تركيبها الوراثى DD أو Dd .. ويعطى كلُّ جين من الجينات التى تتحكم فى الصفات البسيطة رمزًا خاصاً به .

قواعد إعطاء الرموز للجينات

نوجز – فيما يلى – أهم التوصيات الدولية الخاصة بقواعد إعطاء الرموز للجينات (عن Robinson وآخرين ١٩٧٦ ، Greenleaf ١٩٨٦) .

١- يجب أن يكون اسم الجين دالاً على الصفات المميزة للطفرة ، مع استخدام أقل عدد من الكلمات الإنجليزية أو اللاتينية فى الاسم .

٢- يرمز للجين بحرف أو حروف رومانية مائلة italics ، بحيث يكون الحرف الأول فى الرمز مطابقا للحرف الأول فى اسم الجين ، وقد يضاف حرف أو حرفان آخران للجينات المتشابهة فى حرفها الأول لتُمَيز عن بعضها بعضاً .

٣- يكون الحرف الأول من الرمز كبيراً (capital letter) إذا كانت الطفرة سائدة ، وصغيرا (lowercase letter) إن كانت متنحية أما بقية الحروف فى الرمز .. فتكون صغيرة فى كلتا الحالتين . ويرمز للآليل الذى يتحكم فى الصفة الطبيعية (البرية) بعلامة + ، أو يعطى الرمز العادى متبوعاً بعلامة + صغيرة فى مستوى أعلى إلى اليمين (superscrist) وعليه .. يكون الآليل الطبيعى للجين السائد A هو A^+ وللجين المتنحى y هو y^+ .

٤- لايعطى أى جين جديد رمزا خاصاً به إلا بعد أن يتأيد ذلك بانعزالات إحصائية للجين .

٥- إما أن تعطى الطفرات المختلفة وراثيًا - والتى تكون متشابهة فى تأثيرها المظهرى (mimics) - أسماء مختلفة ، ورموزا مختلفة ، وإما أن تعطى رمزاً عاماً واحداً ويليه شرطة (وربما لاتوضع الشرطة) ثم تعطى رقماً عددياً أو حرفاً رومانياً على نفس المستوى (مثلا pm - 2) . ويعطى الرقم ١ للجين الأول فى سلسلة من هذه الجنيات ، ولكنه قد يذكر ، وربما لا يذكر ، فمثلا يعطى الرمزان I ، و I - 2 للجين الذى يتحكم فى المقاومة للسلالة رقم (١) من الفطر المسبب لمرض الذبول الفيوزارى فى الطماطم ، والجين الذى يتحكم فى السلالة رقم (٢) من نفس الفطر على التوالى . ويوصى دائما باجراء اختبار الآليلية Test of Allelism قبل إعطاء رمز لأى جين فى سلسلة من الجينات من هذا القبيل ؛ وذلك لأن الجينات التى تؤثر فى الصفة نفسها ، والمتحصل عليها من أنواع نباتية مختلفة لاتكون آليلية ، ويمكن فى هذه الحالة - تمييزها برمز صغير فى مستوى أعلى إلى اليمين (Superscript) يدل على اسم النوع .

٦- تعطى الآليلات المتعددة Multiple Alleles لنفس الجين رمزاً عاماً واحدا ، ويليه رقم عددى ،أو حرف رومانى ، يكون فى مستوى أعلى إلى اليمين (superscript) . ويجب دائماً إجراء اختبار الآليلية للتأكد من كون الجنيات آليلية ، أم أنها جينات مختلفة .

٧- أما بالنسبة للآليلات التى توجد فى نفس الموقع الجينى ، التى يكون لها نفس التأثير المظهرى (أى التى لايمكن تمييزها عن بعضها بعضاً) .. فإنها تعطى نفس الرمز وتميز - عند الرغبة فى ذلك - برقم عددى ، أو حرف مميز بين قوسين ، يكون فى مستوى أعلى إلى اليمين .

٨- إما أن تأخذ الجنيات المحورة modifier genes رموزاً عادية ، أوانها تعطى الوصف المناسب لما تحدثه من تأثير مثل : intensifier أو uppersşor أو inhibtor ، ويلى ذلك .. شرطة ، ثم رمز الآليل الذى يتأثر بها .

٩- تكون أسبقية النشر هى الفيصل فى الحالات التى أعطى فيها أكثر من رمز لنفس الجين ، أو رمزاً واحداً لأكثر من جين . وتوضع الرموز التى أعطيت خطأ بين قوسين فى قوائم الجينات .

اختبار الآليلية

ذكر اختبار الآليلية Allelism Test أثناء مناقشة قواعد إعطاء الرموز للجينات ، وهو اختبار يجرى لتحديد علاقة الجين بالجينات الأخرى التى تعطى تأثيرا مشابهاً ، فكثيرا مايجد المربى نفسه أمام أكثر من مصدر لصفة من الصفات التى يرغب فى الاستفادة بها فى برنامج التربية ؛ فقد تتوفر - مثلا - عدة مصادر للمقاومة لمرض ما ؛ حيث يتعين - حينئذ - معرفة إن كانت هذه المصادر تحتوى على نفس الجين الخاص بالمقاومة ، أم أنها تحتوى على آليلات مختلفة لنفس الجين ، أم على جينات مختلفة كلية . وترجع أهمية ذلك إلى أن المربى قد يرغب فى زيادة تركيز صفة المقاومة بإدخال أكثر من جين لها فى برنامج التربية ، وقد تتحكم الآليلات المختلفة لنفس الجين فى مستويات مختلفة من المقاومة ، كما قد يتحكم كل منها فى المقاومة لسلالات معينة من المسبب المرضى دون غيرها .

يجرى اختبار الآليلية بتلقيح كل مصدر للصفة مع صنف آخر ، لايحتوى على هذه الصفة ؛ حيث يمكن - بناء على الانعزال المشاهد فى الجيل الثانى لكل تلقيح - معرفة عدد الجينات المتحكمة فى الصفة فى كل مصدر منها ، ويلى ذلك .. تلقيح المصادر المختلفة للصفة مع بعضها بكل الطرق الممكنة ، ودراسة الجيل الثانى لكل تلقيح ، فإن لم تحدث انعزالات .. دل ذلك على اشتراكها فى نفس الجين ، أو الجينات المتحكمة فى الصفة . أما إذا حدثت انعزالات فإن ذلك يكون دليلاً على أن الجينات المتحكمة فى الصفة ليست

آليـة ؛ فيدل – مثلاً – حدوث انعزال بنسبة ١٥ : ١ على احتواء كل مصدر على جين مـختلف للصفة ، ويدل انعزال بنسبة ٦٣: ١ على احتواء كل مصدر على جينين للصفة ، واختـلاف المصـدرين فيـما يوجـد بهـما من جينات ، وكمـثال على اخـتبـار الأليليـة تُذكر دراسات Zink (١٩٧٣) الذى أجرى ستة تلقيحات بين خمسة أصناف من الخس ؛ لتحديد العلاقة بين جينات المقاومة للبياض الزغبى التى تتوفر فيها ، وحصل على النـتـائج المبينة فى جـدول (٣ – ١) .

جدول (٣ – ١) : نتائج اختبار الأليلية لمصادر مختلفة للمقاومة للبياض الزغبى فى الخس .

التلقيح	الجيل الثانى			
	مقاوم	قابل للإصابة	مجموع مربع كاى (x^2)	الاحتمال (P)
GL 118 x Meikoningen	٤٦	١٤٦	٠,٠١١١ (١:٣)	٠,٩٥–٠,٧٠
GL118 x Ventura	٣٣	٤٨٩	٠,٠٠٤ (١:١٥)	٠,٩٥–٠,٧٠
Calmar x Meikoningen	٧٨	١٢٥٢	٠,٣٣٧ (١:١٥)	٠,٧٠–٠,٥٠
GL118 x P . Blackpool	٢٥	٣٣٨	٠,٢٥١ (١:١٥)	٠,٧٠–٠,٥٠
Calmar x P . Blackpool	٢٢	١٤٢٨	٠,٠٢٩ (١:٦٣)	٠,٩٥–٠,٧٠
Calmar x Ventura	١٩	١٢٦٥	٠,٠٥٧ (١:٦٣)	٠,٩٥–٠,٧٠

حدود تأثير العامل الوراثى على الشكل المظهرى

إن الجـين لايعمل فى فراغ ؛ فـهو يؤثر ويتـأثر بالجـينات الأخـرى الموجـودة بالتركيب الوراثى للكائن الحى . ورغم أن الجين قد يكون له دور واحد فى التفاعلات الحيوية .. إلا أنه يكون له – غالباً – عدة تأثيرات نهائية على الشكل الظاهرى للكائن الحى ؛ وبذا فإن كل الجينات قد تكون ذات تأثير متعدد ، ويحاول مربو النبات الاستفادة من هذه الحقيقة فى تحـديد القيـمـة الحـقيـقـية للجين ؛ من خلال دراسـاتهم على السلالات ذات الأصـول الوراثـية المتشابـهة Isogenic lines ، وهى السـلالات التى تحتوى على آليلات مخـتلفة لجين واحد ، ولكنها تكون متماثلة – تماماً – فى جميع الجينات الأخرى ، وتنتج بإحدى

طريقتين كما يلي :

١- طريقة التهجين الرجعي Backcross Methad :

خُصِصَ للتربية - بطريقة التهجين الرجعي - فصل مستقل من هذا الكتاب ، وهي تجرى بغرض نقل صفة أو صفات قليلة من سلالة برية أو صنف مزروع إلى صنف تجارى ناجح ، وتعتمد على انتخاب النباتات التى تحتوى على الصفة المراد نقلها بعد التهجين الأصلي ، وتهجينها رجعياً للصنف التجاري وتكرار ذلك نحو ثماني مرات ؛ حيث نحصل - في نهاية الأمر - على سلالة جديدة مماثلة تماما للصنف التجاري في جميع العوامل الوراثية فيما عدا احتوائها على آليل مختلف للجين المطلوب معرفة تأثيره ، وتتميز هذه الطريقة بأنها تسمح بتقييم تأثير الجينات في الأصناف التجارية الناجحة ، كما أن السلالة الجديدة المنتجة بالتهجين الرجعي .. قد يمكن استعمالها كصنف جديد إن كانت الصفة المنقولة إليها مرغوباً فيها ، ولكن يعاب عليها أنها لاتسمح بتقييم الجين إلا في خلفية وراثية واحدة ، وهي الخلفية الخاصة بالصنف التجاري الذى استخدم كأب رجعي ، بينما قد يختلف تأثير الجين باختلاف الخلفية الوراثية للصنف الذى نقل إليه .

٢- طريقة التلقيح الذاتي مع انتخاب النباتات الخليطة في الجين المراد دراسة تأثيره :

يسهل اتباع هذه الطريقة مع الجينات التي يكون فيها الفرد الخليط وسطاً في صفاته بين الأبوين - أى في حالات السيادة غير التامة incomplete dominance - وإن كانت ممكنة - بيد أنها تتطلب جهداً أكبر - مع الجينات ذات السيادة التامة ، وهي تعتمد على تمييز الأفراد الخليطة في الجين المراد دراسة تأثيره ، إما مباشرة في حالات السيادة غير التامة ، وإما بعد اختبار النسل في حالات السيادة التامة ، وتلقيحها ذاتياً ، وتكرار ذلك لنحو ثمانية أجيال ، يبدأ ذلك في الجيل الثاني للتلقيح بين صنفين يختلفان في عدة صفات ، ويحتويان على آليلين مختلفين للجين المراد دراسة تأثيره ؛ حيث يتم انتخاب مجموعة من النباتات التي تمثل أكبر قدر من الاختلافات المشاهدة في الصفات الحقلية أو البستانية الهامة ، مع ضرورة أن تكون جميعها خليطة في الجين موضع الدراسة . ومع تلقيح هذه النباتات ذاتياً ، وتكرار ذلك في نسل كل منها حتى الجيل السابع .. نحصل في

الجيل الثامن على سلالتين أصيلتين من كل سلسلة من التلقيحات الذاتية ، وتكون سلالتا كل زوج منها متشابهتين تماما فى جميع العوامل الوراثية ، فيما عدا اختلافهما فى احتواء إحداهما على أحد الأليلات ، واحتواء الأخرى على الأليل الآخر للجين المراد تقييمه ، ويمكن بهذه الطريقة دراسة تأثير الجين فى الشكل المظهرى فى خلفيات وراثية متنوعة ، ولكن يعاب عليها أنها لاتصلح فى المحاصيل الخلطية التلقيح التى تتدهور بالتربية الداخلية (أى بالتلقيح الذاتى الصناعى) حيث تفقد قوة نموها ، وبذا لايمكن دراسة التأثير الحقيقى للجين تحت الظروف الطبيعية ، كما أن التراكيب الوراثية الناتجة من برنامج التلقيح الذاتى تكون غالبا غير صالحة للاستعمال التجارى .

ونظراً لأن إنتاج السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة تماماً يستغرق جهدا كثيرا وفترة زمنية طويلة .. لذا يكتفى الباحثون – عادة – بسلالات على درجة أقل من التشابه ، يطلق عليها اسم near - isogenic lines ويتطلب إنتاج هذه السلالات عدداً أقل من الهجن الرجعية – مقارنة بالسلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة تماما – عند إنتاجها بالطريقة الأولى ، وعدداً أقل من أجيال التربية الداخلية عند إنتاجها بالطريقة الثانية . ويجب أن يؤخذ فى الحسبان – حينئذ – أن السلالات المنتجة ربما تختلف فى عدد قليل من الجينات التى لايكون تأثيرها المظهرى واضحاً ، كذلك يصعب نقل جين واحد مرغوب فيه من نوع برى إلى نوع مزروع ، دون أن تنتقل معه الجينات القريبة منه على الكروموسوم ، التى ترتبط معه بشدة ، وتبقى معه مهما كان عدد التهجينات الرجعية إلى النوع المزروع .

ويصعب – فى بعض الأحيان – معرفة إن كان الجين متعدد التأثير ، أم أنه يرتبط بقوة بجينات أخرى . وبينما لايكون لذلك أية أهمية – عملياً – مادام المربى يحصل على الصفات المرغوب فيها، إلا أن الأمر يكون مختلفا فى حالة ظهور صفات غير مرغوبة مع الصفة المرغوب فيها على الدوام ؛ فينبغى فى هذه الحالة – الاستغناء عن الجين إن كان ذا تأثير متعدد ، أو محاولة كسر الارتباط غير المرغوب فيه إن وجد مثل هذه الارتباط (Allard ١٩٦٠) .

ولبيان أهمية السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة فى تقدير القيمة الحقيقية للجين نستعرض دراسات Emery & Munger (١٩٧٠ أ ، ١٩٧٠ ب) على الطماطم ؛ فقد أنتج

الباحثان سلالات ذات أصول وراثية متشابهة من ثلاثة أصناف من الطماطم ، هي : فايربول Fireball ، وجاردنر Gardner ، وكورنل ٥٤ - ١٤٩ Cornell 54 - 149 تختلف في العوامل الوراثية المتحكمة في صفات النمو المحدود ، والنمو غير المحدود ، والنمو المتقزم ، وعنق الثمرة الخالي من المفصل jointless ؛ ثم قارنا هذه السلالات على مسافات زراعة مختلفة ، وتدل نتائج دراساتهم على أن السلالات المحدودة النمو أنتجت محصولاً أعلى خلال الأسابيع الأربعة الأولى من الحصاد ، ولكن تساوى محصولها الكلى مع محصول السلالات غير المحدودة النمو ، وكان محصول كل منهما أعلى من محصول كل من السلالات المتقزمة والسلالات العديمة المفصل ، كما كان محصول السلالات عديمة المفصل أعلى من محصول السلالات المتقزمة في الأسبوع الأخير من الحصاد . وقد استجابت السلالات المحدودة النمو لمسافات الزرعة الضيقة بإعطائها محصولا أعلى من السلالات الأخرى ، خاصة في الأسابيع الثلاثة الأولى من الحصاد . كما أنتجت السلالات غير المحدودة النمو والعديمة العقدة ثمارا أكبر ، ذات محتوى أعلى من المواد الصلبة الذائبة الكلية عما في السلالات المحدودة النمو في كل الأصناف ، وفي مسافات الزراعة المستعملة (وهي ١٥ × ١٨٠ سم ، و ٤٥ × ١٨٠ سم) ، ولكن اختلف مقدار الفرق في حجم الثمار ، ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة باختلاف الصنف . أما السلالات المتقزمة .. فقد أعطت ثماراً أصغر حجما من السلالات غير المتقزمة إلا أن السلالتين تساوتا في محتواهما من المواد الصلبة الذائبة . وتعني هذه النتائج .. أن جميع الجينات التي درست كانت ذات تأثير متعدد .

الانعزالات الوراثية

إن الانعزالات الوراثية Genetic Recombinations هي المصدر الرئيسي للاختلافات الوراثية التي يستعملها المربي في برامج التربية لأجل تحسين النباتات ، كما أنها ترتبط ارتباطا وثيقاً بطريقة التلقيح السائدة في المحصول ، ولذا .. فإن فهم الأساس الوراثي للعشائر النباتية وكيفية تداولها في برامج التربية يتطلب إلماما تاماً بكل مايتعلق بالانعزالات الوراثية .

العوامل المؤثرة فى الانعزالات الوراثية

لايحدث أى انعزال وراثى فى أفراد الجيل الأول F_1 generation مادامت الآباء المستخدمة فى التهجين أصيلة وراثيًا فى الصفات التى يراد دراستها، ويؤدى التلقيح الذاتى الطبيعى أو الصناعى إلى إنتاج نباتات الجيل الثانى، وهى التى يبدأ فيها ظهور الانعزالات الوراثية . ويتأثر الانعزال فى هذا الجيل بالعوامل التالية :

١- عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأبوان :

يتوقف عدد التراكيب الوراثية المنعزلة فى الجيل الثانى على عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأبوان، وهى نفسها عدد المواقع الجينية التى تكون خليطة فى الجيل الأول . ويبين جدول (٣-٢) عدد أنواع الجاميطات التى تنتجها نباتات الجيل الأول ، وعدد الأشكال المظهرية ، والتراكيب الوراثية ، ومجموع نسب التراكيب الوراثية المتوقعة فى الجيل الثانى فى حالتى : السيادة التامة والسيادة غير التامة ، بفرض اختلاف الأبوين فى عدد قدره (ن) من العوامل الوراثية . ويمكن استنباط هذه القوانين بسهولة ، بحساب أعداد ونسب التراكيب الوراثية والأشكال المظهرية عند اختلاف الآباء فى زوج أو زوجين أو ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية . ويتضح من الجداول أن أعداد التراكيب الوراثية المنعزلة المتوقعة فى الجيل الثانى تزيد زيادة كبيرة ، بارتفاع عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأبوان (ن) فنجد أنها تكون ٣ فى حالة ن = ١ ، و ٩ فى حالة ن = ٢ ، و ٢٧ فى

جدول (٣-٢) : عدد أنوع الجاميطات التى تنتجها نباتات الجيل الأول ، وعدد الأشكال المظهرية ، والتراكيب الوراثية ، ومجموع نسب التراكيب الوراثية المتوقعة فى الجيل الثاني فى حالتى السيادة التامة والسيادة غير التامة ، بفرض اختلاف الأبوين فى عدد قدرة (ن) من العوامل الوراثية

البيان المطلوب	فى حالة	
	السيادة التامة	غياب السيادة والتفوق
عدد أنواع الجاميطات التى تنتجها نباتات الجيل الأول	$٢^{ن}$	$٢^{ن}$
عدد الأشكال المظهرية المتوقعة فى الجيل الثانى	$٢^{ن}$	$٣^{ن}$
عدد التراكيب الوراثية الأصيلة المتوقعة فى الجيل الثانى	$٢^{ن}$	$٢^{ن}$
العدد الكلى للتراكيب الوراثية المتوقعة فى الجيل الثانى	$٣^{ن}$	$٣^{ن}$
مجموع نسب التراكيب الوراثية المتوقعة فى الجيل الثانى .	$٤^{ن}$	$٤^{ن}$

حالة ن = ٣ ، و ٨١ فى حالة ن = ٤ ، و ٥٩٠٤٩ فى حالة ن = ١٠ ، و١٠٤٦٠٣٥٢٢٠٣ فى حالة ن = ٢١ .

ويمكن الحصول على نسبة أى تركيب وراثى بسهولة فى الجيل الثانى من المعادلة التالية :

$$\text{نسبة التركيب الوراثى المرغوب فيه} = \frac{٢^{س}}{٤^{ن}}$$

حيث تمثل "س" عدد العوامل الوراثية الخليطة فى التركيب الوراثى المرغوب فيه و "ن" عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأبوان .

أما نسبة الأفراد التى تكون ذات شكل مظهرى معين .. فإنها تساوى $\frac{٣^{ص}}{٤^{ن}}$ حيث تمثل "ص" عدد الصفات المظهرية السائدة فى الفرد المطلوب سواء أكان أصيلاً ، أم خليطاً فى تركيبه الوراثى عند كل من هذه الصفات ، و تمثل "ن" عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأبوان .

٢- عدد آليلات كل جين :

كان الافتراض - فى المناقشة السابقة - أن النبات ثنائى المجموعة الكروموسومية ، وبذا فإن الفرد الواحد لايمكن أن يحتوى على أكثر من أليلين لكل جين ، ولو تعددت آليلات الجين . ولكن الأمر يختلف فى النباتات المتضاعفة ، حيث يمكن أن يزيد عدد الآليلات عند كل موقع جينى ، ويتوقف ذلك على درجة التضاعف ، وعدد الآليلات المتوفرة من كل جين ، ويتبع ذلك .. حدوث زيادة كبيرة فى عدد التراكيب الوراثية الممكنة فى الجيل الثانى ، ويأتى شرح ذلك فى الفصل الخاص بالتربية بالتضاعف .

٣- الارتباط بين الجينات :

يؤثر الارتباط بين الجينات - المحمولة على نفس الكروموسوم - على الانعزالات الوراثية التى تظهر فى الجيل الثانى ؛ حيث يؤدى إلى زيادة نسبة التراكيب الوراثية المماثلة للأبوين (التراكيب الأبوية) على حساب التراكيب الوراثية الجديدة (التراكيب العبورية) ويتوقف مقدار التأثير على درجة الارتباط بين الجينات ، وعلى كيفية حمل الجينات المرتبطة معاً على كروموسومات الجيل الأول ؛ أتوجد السائدة معا على كروموسوم ، والمتنحية معا على الكروموسوم الآخر (النظام الازدواجى (AB/ab: coupling) أم تتوزع الآليلات السائدة والمتنحية على الكروموسومين

بالتبادل ؟ (النظام التنافرى (Ab/aB: repulsion)) ، وهو مايتوقف – بطبيعة الحال – على التركيب الوراثى للآباء . ويؤثر الارتباط فى قيمة العبور التى تكون دائما أقل من ٥٠٪ (وهى قيمة العبور فى حالة الانعزال الحر) وتحسب نسبة التراكيب الوراثية الأصلية السائدة AA BB أو المتنحية aa bb فى الجيل الثانى بالمعادلتين التاليتين :

نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة أو المتنحية فى حالة النظام الازدواجى

$$= \frac{١}{٤}(١ - ع)^{٢} .$$

نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة أو المتنحية فى حالة النظام التنافرى

$$= \frac{١}{٤} ع^{٢} .$$

حيث تمثل "ع" قيمة العبور بين الجينين . ويتضح – لدى تطبيق المعادلة – أن نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة لاتختلف بين حالتى التماثل والتنافر ، عندما يكون الانعزال حرا (أى عندما تكون قيمة ع = ٥٠٪) ، بينما تزيد نسبة التراكيب الأصيلة بزيادة قيمة العبور فى حالة النظام الازدواجى ، وتقل فى حالة النظام التنافرى كما فى جدول (٣-٢) . والعبرة من ذلك .. أن الارتباط بين جينين أو أكثر يمكن أن يكون مفيدا إذا وجدت الأليلات المرغوب فيها للجينات المرتبطة فى النظام الازدواجى ، بينما يكون الارتباط معوقا لعمل المربى إذا وجدت الأليلات المرغوب فيها للجينات المرتبطة فى النظام التنافرى .

وعمليا .. يؤدى الارتباط إلى زيادة فرصة ظهور التراكيب الوراثية الأبوية فى الجيل الثانى ، بينما يقلل من فرصة ظهور انعزالات جديدة ، ويتوقف ذلك على شدة الارتباط التى تزيد بانخفاض قيمة (ع) . وقد يكون الارتباط مرغوباً فيه أو غير مرغوب فيه ؛ ففى النباتات غير المستأنسة ، والمحاصيل حديثة العهد بالزراعة .. يقلل الارتباط من احتمالات تحسين المحصول لأنه يقلل من فرصة ظهور تراكيب وراثية جديدة ، قد يستفاد بها فى تحسين المحصول . أما فى النباتات المزروعة – منذ أمد بعيد – فإن الارتباط يكون مرغوباً فيه ، لأنه يحافظ على ثبات التراكيب الوراثية المرغوب فيها .. ويكون الهدف النهائى لأى برنامج للتربية هو جمع الصفات المرغوب فيها معاً ، أى تشجيع الارتباطات بين الجينات المرغوب فيها ، وهو ما يتم بصورة تدريجية .

جدول (٣ - ٣) : نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة AA BB ، أو الأصيلة المتنحية aa bb فى حالتى النظام الازدواجى والتنافرى عند اختلاف قيمة العبور (ع) .

قيمة العبور (ع)	نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة، أو الأصيلة المتنحية فى الجيل الثانى فى حالة	
	النظام الازدواجى (AB/ab)	النظام التنافرى (Ab/aB)
٥٠ر٠	٢٥ر٦	٢٥ر٦
٢٥ر٠	٠٦ر١٤	٥٦ر١
١٠ر٠	٢٥ر٢٠	٢٥ر٠
٢٠ر٠	٠١ر٢٤	٠١ر٠
١٠ر٠	٥٠ر٢٤	٠٠٢٥ر٠
ع	$\frac{١}{٤}$ (١ -ع)^{٢}	$\frac{١}{٤}$ ع^{٢}

طرق التعرف على النباتات المرغوب فيها فى الأجيال الانعزالية

يصعب - أحيانا - تمييز النباتات التى تحتوى على الصفات المرغوب فيها فى الأجيال الانعزالية ، حينماً يكون تأثر الصفات بالعوامل البيئية كبيراً . ويجرى الانتخاب للصفات المرغوب فيها فى هذه الحالة ، بعد مقارنة النباتات مع بعضها ، ويستخدم لذلك أحد نظامين هما :

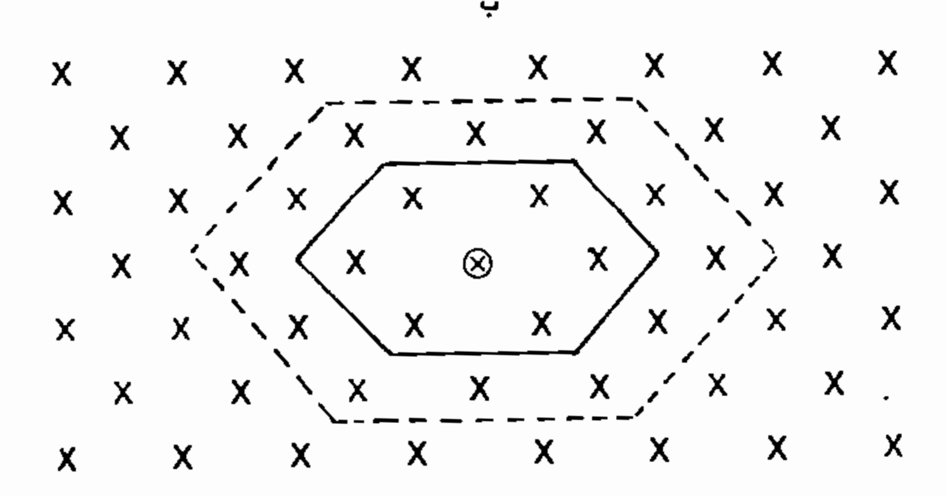
١- زراعة النباتات فى خطوط متوازية ، على مسافات متساوية من بعضها فى الخط الواحد grid design ؛ ثم تقسيم الحقل إلى شرائح طولية ، وانتخاب أفضل النباتات فى كل شريحة (شكل ٣ - ١ أ) .

٢- زراعة النباتات على مسافات موحدة من بعضها على أن تكون متبادلة الوضع فى الخطوط (زراعة رجل غراب) ، وهو ما يعرف بنظام خلايا نحل العسل honey comb design (شكل ٣-١ ب) لأن كل نبات تحدد قيمته بجعله فى مركز شكل مسدس الزوايا والأضلاع (مثل خلية نحل العسل) ، ثم مقارنته بكل نبات آخر داخل هذا

الشكل ، ولاينتخب النبات إلا إذا كان فائقاً على النباتات الأخرى التى توجد معه داخل الشكل المسدس . ويمكن زيادة شدة الانتخاب بتوسيع مساحة شكل خلية النحل .

أ

ب



شكل (٣ - ١) : طرق مقارنة النباتات فى الأجيال الانعزالية مع بعضها البعض لانتخاب المتميزة منها :

(أ) طريقة الشرائح الطولية grid design .

(ب) طريقة خلايا نحل العسل honeycomb design (عن Fehr ١٩٨٧) .

حساب الحد الأدنى لعدد النباتات التى تلزم زراعتها ؛ للحصول على التركيب الوراثى المرغوب فيه

يهتم المربى بزراعة عدد كاف من النباتات فى الأجيال الانعزالية ؛ لكى يضمن الحصول على نبات واحد – على الأقل – من التركيب الوراثى المرغوب فيه ، وتستخدم معادلة Mainlane (عن Watts ١٩٨٠) لحساب الحد الأدنى لعدد النباتات التى ينبغى زراعتها كما يلى :

$$N = \log_e F (P \frac{1}{2})$$

حيث تمثل "N" عدد النباتات التى تلزم زراعتها ، و "P" مقلوب احتمال ظهور التركيب الوراثى المرغوب فيه فى الجيل الانعزالى ، و "F" احتمال المخاطرة بعدم العثور على التركيب الوراثى المطلوب (احتمال الفشل) .. علما بأن لوغاريتم احتمالات الفشل للأساس (e) .. (أى قيمة $\log_e F$) تكون : ٢,٣ ، عندما يكون مستوى احتمال الفشل المسموح به ٠,١ ، و ٢,٩٩٦ عند مستوى احتمال فشل قدره ٠,٠٥ ، و ٤,٦ عند مستوى احتمال فشل ٠,٠١ ، و ٦,٩ ، عندما يكون مستوى احتمال الفشل ٠,٠٠١ .

أما عندما يحتاج المربى إلى عدد أكبر من النباتات من التركيب الوراثى المرغوب فيه .. فإنه يستخدم لذلك معادلات أخرى ؛ مثل معادلة J . R . Sedcole (عن Fehr ١٩٨٧) ، وهى كمايلى :

$$n = \frac{[2 (r - o.5) + z^2 (1 - q)] + z [z^2 (1 - q)^2 + 4 (1 - q) (r - o.5)]^{\frac{1}{2}}}{2q}$$

حيث تمثل " n " العدد الكلى للنباتات التى يتعين زراعتها ، و "r" العدد المطلوب من النباتات ذات التركيب الوراثى المرغوب فيه ، و "q" نسبة (معدل) ظهورها فى النسل ، و "P" احتمال الحصول على العدد المطلوب منها ، و z قيمة محسوبة تقابل الاحتمال P علماً بأن قيمة z تكون ١,٦٤٥ فى حالة P = ٠,٩٥ ، و ٢,٣٢٦ عند P = ٠,٩٩ .

وتجدر الإشارة إلى أن المعادلتين السابقتين يمكن استعمالهما – كذلك – فى كل الحالات المماثلة ؛ فهما تستخدمان – مثلاً – فى حساب الحد الأدنى لعدد النباتات التى

تلزم زراعتها ؛ للعثور على نبات واحد ، أو عدد معين من النباتات المصابة بمرض ما إذا علمت نسبة إصابة البذور بذلك المرض . وقد استخدم Sedcole معادلة أخرى أكثر دقة وتعقيداً فى التوصل إلى الأرقام المبينة فى جدول (٣-٤) ، وهى أعداد النباتات التى يتعين زراعتها ؛ للعثور على عدد معين من تركيب وراثى مرغوب فيه ، عندما تكون احتمالات ظهورها حسب النسب المبينة فى الجدول (وهى أكثر النسب شيوعاً) ، ومع احتمال قدره ٠,٩٥ أو ٠,٩٩ للحصول على العدد المطلوب من النباتات ذات التركيب الوراثى المرغوب فيه ، ويتبين من الجدول .. أن أعداد النباتات التى يتعين زراعتها تزيد زيادة كبيرة عند خفض احتمال المخاطرة ، بعدم ظهور التركيب الوراثى المرغوب فيه من ٥٪ إلى ١٪ ، وعند انخفاض النسبة المتوقعة لظهور التركيب الوراثى المرغوب فيه ، ومع زيادة العدد المطلوب من النباتات .

.. ويجب أن تؤخذ نسبة إنبات البذور فى الحسبان عند حساب عدد البذور التى يتعين زراعتها . ويحسب عدد البذور التى تلزم زراعتها بقسمة العدد المحسوب من النباتات (بواسطة المعادلات) على نسبة إنبات البذور .

اختبار مربع كاى

يستخدم اختبار مربع كاى فى المجالات التالية :

١- لمطابقة النسب المشاهدة للانعزالات الوراثية مع النسب المتوقعة .

٢- لاختبار مدى استقلالية النتائج المشاهدة ؛ مثل اختبار ما إذا كانت نسب النباتات المصابة ، وغير المصابة بمرض ما تختلف - أو لاتختلف - جوهرياً فى مجموعة من الأصناف .

٣-لاختبار إن كانت مجموعة من العينات تنتمى إلى عشيرة واحدة ، أم لا .

استخدام اختبار مربع كاى فى مطابقة نسب الانعزالات الوراثية المشاهدة على النسب المتوقعة :

يستخدم اختبار مربع كاى (كا٢ ، X^2 أو chi square test) فى معرفة إن كانت النسب أو القيم المشاهدة للانعزالات الوراثية هى حقيقة مشابهة للنسب المندلية أو القيم المتوقعة ، ويحصل على مربع كاى عن طريق إيجاد الانحراف للقيم المشاهدة عن المتوقعة

جدول (٣-٤) : الحد الأدنى لعدد النباتات التى تلزم زراعتها فى العشائر الانعزالية ؛ حتى يمكن الحصول منها على عدد معين من نباتات ذات تركيب وراثى مرغوب فيه ، عند اختلاف النسبة المتوقعة لظهورها فى العشيرة ، واختلاف احتمالات النجاح الإحصائية ، المتوقعة لتحقيق ذلك .

p(أ)	q(ب)	عدد النباتات التى يجب زراعتها عندما يكون عدد النباتات المطلوبة من التركيب الوراثى المرغوب فيه (ر) كما يلى : ١	٢	٣	٤	٥	٦	٨	١٠	١٥
٠,٩٥	١/٢	٥	٨	١١	١٣	١٦	١٨	٢٣	٢٨	٤٠
	١/٣	٨	١٣	١٧	٢١	٢٥	٢٩	٣٧	٤٤	٦٢
	١/٤	١١	١٨	٢٣	٢٩	٣٤	٤٠	٥٠	٦٠	٨٤
	١/٨	٢٣	٣٧	٤٩	٦٠	٧١	٨٢	١٠٣	١٢٣	١٧٢
	١/١٦	٤٧	٧٥	٩٩	١٢٢	١٤٤	١٦٦	٢٠٨	٢٤٨	٣٤٧
	١/٣٢	٩٥	١٥٠	٢٠٠	٢٤٦	٢٩١	٣٣٤	٤١٨	٥٠٠	٦٩٧
	١/٦٤	١٩١	٣٠٢	٤٠١	٤٩٤	٥٨٤	٦٧١	٨٣٩	١٠٠٢	١٣٩٧
٠,٩٩	١/٢	٧	١١	١٤	١٧	١٩	٢٢	٢٧	٣٢	٤٥
	١/٣	١٢	١٧	٢٢	٢٧	٣١	٣٥	٤٤	٥٢	٧١
	١/٤	١٧	٢٤	٣١	٣٧	٤٣	٤٩	٦٠	٧٠	٩٦
	١/٨	٣٥	٥١	٦٤	٧٧	٨٩	١٠١	١٢٤	١٤٦	١٩٨
	١/١٦	٧٢	١٠٤	١٣٢	١٥٨	١٨٢	٢٠٦	٢٥٢	٢٩٦	٤٠٢
	١/٣٢	١٤٦	٢١٠	٢٦٦	٢١٨	٢٦٨	٣١٦	٥٠٨	٥٩٧	٨٠٩
	١/٦٤	٢٩٣	٤٢٣	٥٢٥	٦٤٠	٧٣٩	٨٣٥	١٠٢٠	١١٩٨	١٦٢٣

(أ) p = احتمال الحصول على العدد المطلوب من النباتات ذات التركيب الوراثى المرغوب فيه .

q = نسبة ظهور النباتات ذات التركيب الوراثى المرغوب فيه فى الجيل الانعزالى .

لكل حد من حدود النسبة ، ثم تربيع كل انحراف ، وقسمته على القيمة المتوقعة لحده ، ثم جمع هذه القيم مع بعضها ؛ فيكون حاصل الجمع هو مربع كاى .. أى إن :

$$\text{مجموع مربع كاى} = \text{مجموع} \left[\frac{(\text{المشاهد} - \text{المتوقع})^{٢}}{\text{المتوقع}} \right]$$

ويحدد بعد ذلك احتمال حدوث مثل هذه القيمة من جدول توزيع مربع كاى (جدول ٣ -٥) عند العدد المناسب لدرجات الحرية (وهو يساوى عدد فئات الأشكال المظهرية المنعزلة -١) فلو فرض - مثلاً - إن كانت قيمة مربع كاى لصفة بسيطة في الجيل الثانى هى ٣٢٢, ٠ فعلى أى شئ تدل هذه القيمة ؟ ، وكيف نحدد إن كانت النسبة المشاهدة هى حقيقة تمثل النسبة ٣ : ١ . يلاحظ من جدول توزيع مربع كاى أن قيمة ٣٢٢ر٠ لدرجة حرّية تساوى واحد ، تقع بين القميتين ١٦, ٠ لاحتمال ٩٠, ٠ ، ٤٥٥, ٠ لاحتمال ٥٠, ٠ أى إن قيمة مربع كاى المحسوبة تقع بين درجتى احتمال ٥٠٪ و ٩٠٪ . ويعنى ذلك أن إعادة هذه التجربة سينتج انحرافات ترجع إلى الصدفة تشابه - فى كبرها - الانحرافات المشاهدة - غالبا - أقل من مرة فى الخمسين ، ولكنها - غالبا - تكون أكبر من مرة فى التسعين ، وبذا .. يمكن اعتبار أن هذا الانحراف المشاهد يرجع إلى العينة أو إلى المصادفة ، وبمعنى آخر .. فإن هذا الانحراف غير معنوى . وعادة ما تفسر النتائج حسب موقع مجموع مربع كاى من الاحتمالات فى جدول توزيع مربع كاى على النحو التالى :

١- إذا كانت درجة الاحتمال ٠٥, ٠ (أى ٥٪) أو أقل .. فإن ذلك يعنى أن النتائج المتحصل عليها غير مطابقة للنظرية الفرضية المقترحة ، وأن الانحرافات المشاهدة تعد انحرافات معنوية ، لاترجع إلى المصادفة فقط ، كما تعد النظرية الفرضية غير مرضية .

٢- إذا كانت درجة الاحتمال أكبر من ٠٥, ٠ ، حتى ٩٠, ٠ فإن ذلك يعنى إن الانحرافات المشاهدة غير معنوية ، وأنها ترجع إلى المصادفة وحدها ؛ وبذا تكون النظرية الفرضية التى حسبت القيم المتوقعة على أساسها متفقة مع النتائج أو القيم المشاهدة .

٣- إذا كانت درجة الاحتمال أكبر من٩٠, ٠ ، حتى ٩٥, ٠ فإن ذلك يعنى وجود تقارب

شديد غير طبيعى بين النتائج المشاهدة والنظرية الفرضية .

٤- أما إذا كانت درجة الاحتمال أكبر من ذلك .. فإن ذلك يثير الشك حول النتائج فى احتمال وجود تحيز بوعى ، أو دون وعى لمطابقة النتائج المشاهدة مع النظرية الفرضية .

جدول (٣ - ٥) : جدول توزيع مربع كاي

درجات الحرية	الاحتمال							
	0.99	0.95	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
1	0.0002	0.004	0.46	1.64	2.71	3.84	5.41	6.64
2	0.020	0.103	1.39	3.22	4.60	5.99	7.82	9.21
3	0.115	0.35	2.37	4.64	6.25	7.82	9.84	11.34
4	0.30	0.71	3.36	5.99	7.78	9.49	11.67	13.28
5	0.55	1.14	4.35	7.29	9.24	11.07	13.39	15.09
6	0.87	1.64	5.35	8.56	10.64	12.59	15.03	16.81
7	1.24	2.17	6.35	9.80	12.02	14.07	16.62	18.48
8	1.65	2.73	7.34	11.03	13.36	15.51	18.17	20.09
9	2.09	3.32	8.34	12.24	14.68	16.92	19.68	21.67
10	2.56	3.94	9.34	13.44	15.99	18.31	21.16	23.21
11	3.05	4.58	10.34	14.63	17.28	19.68	22.62	24.72
12	3.57	5.23	11.34	15.81	18.55	21.03	24.05	26.22
13	4.11	5.89	12.34	16.98	19.81	22.36	25.47	27.69
14	4.66	6.57	13.34	18.15	21.06	23.68	26.87	29.14
15	5.23	7.26	14.34	19.31	22.31	25.00	28.26	30.58
16	5.81	7.96	15.34	20.46	25.54	26.30	29.63	32.00
17	6.41	8.67	16.34	21.62	24.77	27.59	31.00	33.41
18	7.02	9.39	17.34	22.76	25.99	28.87	32.35	34.80
19	7.63	10.12	18.34	23.90	27.20	30.14	33.69	36.19
20	8.26	10.85	19.34	25.04	28.41	31.41	35.02	37.57
21	8.90	11.59	20.34	26.17	29.62	32.67	36.34	38.93
22	9.54	12.34	21.34	27.30	30.81	33.92	37.66	40.29
23	10.20	13.09	22.34	28.43	32.01	35.17	38.97	41.64
24	10.86	13.85	23.34	29.55	33.20	36.42	40.27	42.98
25	11.52	14.61	24.34	30.68	34.38	37.65	41.57	44.31
26	12.20	15.38	25.34	31.80	35.56	38.88	42.86	45.64
27	12.88	16.15	26.34	32.91	36.74	40.11	44.14	46.96
28	13.56	16.93	27.34	34.03	37.92	41.34	45.42	48.28
29	14.26	17.71	28.34	35.14	39.09	42.56	46.69	49.59
30	14.95	18.49	29.34	36.25	40.26	43.77	47.96	50.89

ويعنى اتخاذ درجة الاحتمال ٠,٠٥ كأساس لقياس مطابقة النتائج المشاهدة مع النظرية الفرضية أن فرصة رفض نظرية صحيحة لاتزيد على ٥٪ . بينما لاتزيد فرصة رفض نظرية صحيحة على ١٪ إذا اتخذت درجة احتمال ٠,٠١ كأساس .. فإنه توجد فى هذه الحالة فرصة أكبر لقبول نظرية غير صحيحة .

وتجب مراعاة الأمور التالية عند تطبيق اختبار مربع كاى .

١- لايكون الاختبار حساساً للعينات الصغيرة ؛ فمثلا .. يكون الانحراف عن النسبة ١:١ غير مقبول ، حسب اختبار مربع كاى ، إذا كانت النسبة المشاهدة ٢ : ٣ ، بينما يكون مقبولا إذا كانت النسبة المشاهدة ٢٠ : ٣٠ ، ويمكن القول .. إنه لايمكن تطبيق الاختبار - بدقة - على التوزيعات التى يقل فيها عدد الأفراد عن خمسة أفراد فى أى من الفئات .

٢- يزيد احتمال جوهرية النتائج كلما قرب الفرق المتوقع بين النسب ، فمثلاً .. يحتاج الاختبار إلى عينة أصغر حجما ، عندما يكون الانعزال بنسبة ١ : ١ عما لو كان بنسبة ١٥ : ١ .

٣- لايمكن تطبيق اختبار مربع كاى - بدقة - على النسب المئوية ، أو النسب المأخوذة من تكرارات عددية ، ولكن الاختبار يطبق على التكرارات العددية ذاتها ، فمثلا .. إذا شوهد فى تجربة سبعة أفراد من طراز معين ، وواحد وعشرون فرداً من الطراز الآخر .. فإنه لايكون من العدل إعادة حساب هذه القيم إلى نسب مئوية مثل ٢٥٪ للطراز الأول ، و٧٥٪ للطراز الثانى ، ثم بعد ذلك .. يطبق اختبار مربع كاى لهذه النسب المئوية التى تفترض أن المورد يتكون من مئة فرد ، بينما لايوجد - حقيقة - فى هذه التجربة سوى ٢٨ فردا ، وبالمثل .. فإن من الخطأ إعادة حساب القيمة المشاهدة ، تبعاً للنسبة ٣ : ١ مثلا ، ثم اختبار هذه النسبة بمربع كاى بعد ذلك (طنطاوى وحامد ١٩٦٢ ، Whitehouse ١٩٧٣ ، Little& Hills ١٩٧٨) .

استخدام مربع كاى فى اختبار إن كانت مجموعة من العينات تنتمى إلى عشيرة واحدة أم لا :

يستخدم اختبار مربع كاى كذلك لدى مقارنة عشيرتين أو أكثر ، تقسم فيها الأفراد

إلى فئات نوعية ؛ فمثلا يجرى الاختبار عند مقارنة عشيرتين من محصول ما لمعرفة إن كانتا متشابهتين أم مختلفتين فى نسبة إصابتها بمرض ما . ويجرى الاختبار على اعتبار أن العشيرتين توجد بهما نفس درجة الإصابة بالمرض ؛ أى إنهما يجب أن يتشابها فى نسبة النباتات المصابة بكل منهما ؛ فيحسب العدد المتوقع للنباتات المصابة فى كل من العشيرتين (أ ، و ب) على أساس أنهما سيكونان بنفس النسبة التى توجد فى المجموع الكلى كما يلى :

العدد المتوقع للنباتات المصابة من العشيرة أ =

$$\frac{\text{العدد الكلى للنباتات المصابة فى العشيرتين} \times \text{العد الكلى للنباتات المختبرة من العشيرة أ}}{\text{العدد الكلى للنباتات المتختبرة من العشيرتين}}$$

العدد المتوقع للنباتات المصابة من العشيرة ب =

$$\frac{\text{العدد الكلى للنباتات المصابة فى العشيرتين} \times \text{العدد الكلى للنباتات المختبرة من العشيرة ب}}{\text{العدد الكلى للنباتات المختبرة من العشيرتين}}$$

ويلى ذلك .. حساب العدد المتوقع للنباتات غير المصابة من العشيرتين ؛ بحساب الفرق بين العدد الكلى المختبر ، والعدد المتوقع المصاب فى كل منهما ، ثم يحسب مربع كاى لأربع مجموعات من الأرقام المشاهدة والمتوقعة (تساوى دائما عدد العشائر المختبرة × عدد الفئات بكل عشيرة) ، وبجمعها معاً .. نحصل على مجموع مربع كاى . ويحدد – بعد ذلك – احتمال حدوث هذه القيمة من جدول توزيع مربع كاى عند العدد المناسب من درجات الحرية . ويحسب عدد درجات الحرية المناسب من المعادلة التالية :

عدد درجات الحرية = (عدد العشائر المختبرة – ١) × (عدد الفئات بكل عشيرة –١)

أى يكون عدد درجات الحرية فى هذا المثال : (٢ –١) × (٢ – ١) = ١

ويعد احتمال ٠,٠٥ هو الحد الفاصل بين قيم مربع كاى الجوهرية (الأعلى من ٠,٠٥) وغير الجوهرية (٠,٠٥ أو أقل) وتدل القيم الجوهرية على أن العشيرتين مختلفتان وراثيا – عن بعضهما . أما القيم غير الجوهرية .. فتدل على أن العشيرتين

متشابهتان فى درجة مقاومتهما للمرض ، وأن فرقا بينهما – بالقدر المشاهد ، أو أكبر منه – لايتوقع حدوثه بالمصادفة ، إلا فى ٥٪ أو أقل من الحالات المشابهة (Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

ولمزيد من التفاصيل عن استعمالات اختبار مربع كاى .. يراجع أحد مراجع الإحصاء ؛ مثل LeCLerg (١٩٦٢) ، و Snedecor & Cochran (١٩٦٧) ، و Little & Hills (١٩٧٨) ، و Gomez & Gomez (١٩٨٤) .

تأقلم العشائر النباتية على البيئة

يعنى تأقلم الصنف أو العشيرة قدرتها على النمو والإزهار والإثمار – بشكل جيد فى ظروف بيئية معينة ، وهو مايعنى قدرتها على إنتاج محصول جيد تحت هذه الظروف . ويرجع التأقلم إلى أحد أمرين ، هما كما يلى :

١- قدرة كل فرد – على حدة – فى العشيرة على التأقلم مع الظروف البيئية السائدة وهو مايعرف باسم التنظيم الفردى Individual Buffering وتوجد هذه الحالة فى العشائر التى يتماثل جميع أفرادها فى تركيبها الوراثى ؛ مثل السلالات النقية والهجن ، والسلالات الخضرية ، ويطلق على هذا النوع من التأقلم اسم Developmental Homeostasis .

٢- قدرة العشيرة – مجتمعة – على التأقلم مع الظروف البيئية السائدة ، وهو ما يعرف باسم تنظيم العشيرة Population Buffering وتوجد هذه الحالة فى العشائر التى تتميز بوجود اختلافات بين أفرادها فى التركيب الوراثى ، مثل الهجن الزوجية فى الذرة ، والأصناف الناجحة من المحاصيل الخلطية التلقيح التى تكثر بالتلقيح الخلطى الطبيعى . وتتميز هذه العشائر بأن أفرادها تكون ذات تراكيب وراثية مختلفة ، يصلح كل منها لظروف معينة ، رغم أنها تعطى نفس الشكل المظهرى للصفات الاقتصادية الهامة ، كما تتمكن التراكيب الوراثية المتباينة من استغلال مساحة الأرض ، دون أن تبقى فراغات بين النباتات ؛ مما يسمح بالاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية الحادثة ، ويطلق على هذا النوع من التأقلم اسم Genetic Homeostasis ، وتكون العشائر – فى هذه الحالة – عرضة للانتخاب الطبيعى .

هذا .. ويوجد نوعان من التأقلم على البيئة ، هما :

١- تأقلم خاص Specific Adaptation :

يتميز الصنف - أو العشيرة - ذو التأقلم الخاص بتحمله لظروف بيئية خاصة ؛ مثل الملوحة العالية ، أو الحرارة المنخفضة أو المرتفعة .. إلخ . تجود هذه الأصناف - عادة - فى المناطق التى يكون الإنتاج فيها محدداً بمثل هذه الظروف البيئية الحادة .

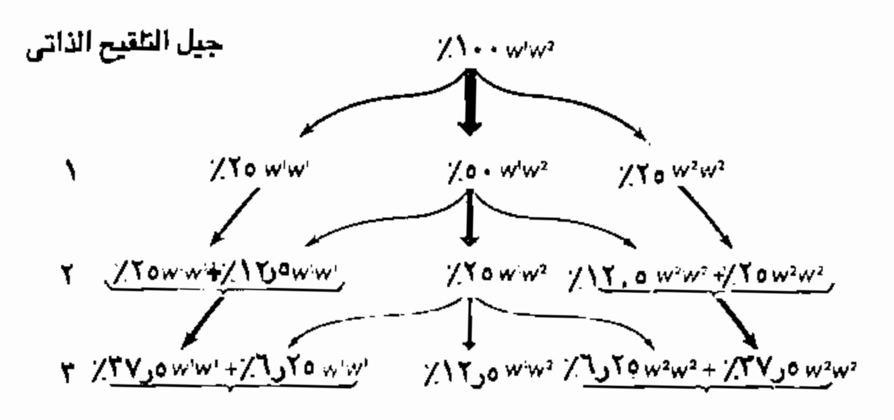
٢- التأقلم العام General Adaptation :

يتميز الصنف - أو العشيرة - ذو التأقلم العام بتحمله لظروف بيئية متباينة ، وبقدرته على النمو ، وإنتاج محصول جيد فى مختلف الظروف ، ولكن لايكون الصنف ذو التأقلم العام ناجحا فى الحالات التى يوجد فيها انحراف حاد عن المتوسط العام فى أحد العوامل البيئية ؛ حيث يحسن فى هذه الحالة استخدام أصناف ذات تأقلم خاص . ومن أمثلة الأصناف ذات التأقلم العام .. أصناف القمح المكسيكية ، وأصناف الأرز التى أنتجت فى معهد بحوث الأرز الدولى فى الفلبين ، والتى نجحت زراعتها فى عديد من دول العالم .

عشائر النباتات الذاتية التلقيح

يؤدى التلقيح الذاتى المستمر - فى النباتات الذاتية التلقيح - إلى أن تصبح جميع النباتات أصيلة تماما 100% Homozygous فى جميع عواملها الوراثية ، وتقل درجة الاصالة الوراثية عن ١٠٠٪ إذا حدثت بالعشيرة نسبة من التلقيح الخلطى ، وكان التلقيح بين نباتات تختلف وراثياً عن بعضها ويتوقف مدى الانخفاض - فى الاصالة الوراثية - عن ١٠٠٪ على نسبة التلقيح الخلطى التى تحدث فى الطبيعة . ويبين شكل (٣-٢) تأثير التلقيح الذاتى المستمر على نسبة النباتات الخليطة فى جين واحد . ويلاحظ من الشكل أن نسبة النباتات الخليطة تقل بمقدار النصف بعد كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى . ويمكن حساب نسبة النباتات الخليطة فى الصفة بعد عدد قدره (ن) من أجيال التلقيح الذاتى من المعادلة التالية :

$$\text{نسبة النباتات الخليطة فى الصفة} = \left(\frac{١}{٢}\right)^{ن} \times ١٠٠$$



شكل (٢ – ٢) : تأثير التلقيح الذاتى على النسبة المئوية للنباتات الخليطة ، يلاحظ أن نسبة النباتات الخليطة تقل بمقدار النصف مع كل جيل من أجيال التلقيح الذاتي (عنBrewbaker ١٩٦٤) .

أما بقية النباتات فتكون أصيله فى الصفة ، ويحصل على نسبتها بطرح نسبة النباتات الخليطة من مئة . ويعني ذلك أن نسبة النباتات الخليطة فى أى عامل وراثى تصبح – على سبيل المثال – ٥٦٢٥ر١ ٪ بعد ٦ أجيال من التقليح الذاتى ، و ٣٩,٠٪ بعد ٨ أجيال ، و ، ٠,٠٩٨ ٪ . بعد ١٠ أجيال ، و ٠,٠٠٠٠٣ ٪ بعد ١٥ جيلاً ... وهكذا . فلو ظهرت طفرة أدت إلى تغير التركيب الوراثى الأصيل W^1W^1 إلى W^1W^2 كما فى شكل (٢-٢) .. فإن التقليح الذاتى المستمر يؤدى إلى اختفاء النباتات الخليطة فى هذه الطفرة وانعزال مجموعتين من النباتات ، تكون إحداهما أصيلة فى الجين الأصل W^1W^1 والأخرى أصيلة فى الطفرة W^2W^2 وإذا حدث تقليح خلطى طبيعى بين نباتين من هاتين المجموعتين .. فإن مصير النبات الخليط الناتج W^1W^2 يكون هو نفس مصير النبات الذى ظهرت فيه الطفرة الأصلية ؛ حيث يؤدى التقليح الذاتى المستمر إلى نقص نسبة النباتات الخليطة فى النسل بمقدار النصف بعد كل جيل من أجيال التقليح الذاتى كما سبق بيانه . ويعنى ذلك أن الأصالة الوراثية تكون هى السمة المميزة لعشائر النباتات الذاتية التقليح .

السلالات النقية

تعَّرف السلالة النقية Pure Line بأنها : النسل الناتج من الإكثار الجنسى لأى نبات ذاتى التلقيح ، كما يعد النسل الناتج من الإكثار الجنسى لأفرادها من نفس السلالة النقية

مادام لايحدث بها أى تغير وراثى بطريق الطفرات ، أو نتيجة التلقيح الخلطى مع نباتات من خارج السلالة ، ويتضح من التعريف السابق أنه يشترط – لإطلاق اسم سلالة نقية على نباتات محصول ما – أن يكون إكثاره جنسيًا ، وتلقيحه ذاتياً . وأن تبدأ السلالة بنسل نبات واحد فقط ولكنها يمكن أن تتسع لتشمل أنسال هذه النباتات أيضاً .

كان يوهانسن Johannsen هو الذى توصل إلى ما عرف بنظرية السلالة النقية Pure line theory وذلك فى عام ١٩٠٣ بعد دراسات مستفيضة على الفاصوليا التى تعد من المحاصيل الذاتية التلقيح ، والتى يندر أن يحدث فيها تلقيح خلطى ، وقد لاحظ يوهانس وجود اختلافات كبيرة فى وزن البذور الجافة فى الصنف الواحد ، وفى نسل النبات الواحد ، وبدأ دراسته بأن سجل وزن ٥٤٩٤ بذرة – كل على حدة – من صنف الفاصوليا Princess ، فوجد أن أوزانها قد توزعت توزيعاً طبيعياً ، وكان المتوسط العام لوزن البذرة الواحدة ٤٩٥ مجم . قام يوهانس باختيار عدد من البذور ، تمثل المدى العام لوزن البذرة ، وزرعها فى الموسم التالى ، ثم اعتنى بتسعة عشر نباتاً منها حتى النضج ؛ حيث حصد بذور كل نبات على حدة ، ثم قدر متوسط وزن البذرة فى كل نسل منها ، فوجد أنها تراوحت من ٣٥٠ إلى ٦٤٠ مجم / بذرة . كما وجد أن متوسط وزن البذرة كان عالياً فى النباتات التى نتجت عن زراعة بذور كبيرة ، ومنخفضا فى النباتات التى نتجت من زراعة بذور صغيرة ، وهو مايدل على أن الانتخاب – فى تلك المرحلة – كان فعالاً . حافظ يوهانس بعد ذلك على السلالات التسع عشرة ؛ بزراعتها لمدة ستة أجيال ، ووجد أن متوسط وزن البذرة ظل ثابتاً فى كل سلالة ، طوال فترة التجربة ؛ حيث تراوح من ٦٤٠ مجم / بذرة فى السلالة رقم (١) إلى ٣٥٠ مجم / بذرة فى السلالة رقم ١٩ .

وبالإضافة إلى ماتقدم .. قام يوهانس بزراعة أكبر ، وأصغر البذور من كل من السلالات التسع عشرة ، ووجد أن متوسط وزن البذرة مساو دائماً – فى نسل النباتات التى نتجت من زراعة بذور كبيرة – لمتوسط الوزن فى نسل النباتات التى نتجت من زراعة بذور صغيرة وذلك فى كل من السلالات التسع عشرة (جدول ٣-٦) ولم تتغير تلك الحقيقة رغم استمراره فى انتخاب أكبر البذور وأصغرها لستة أجيال متتالية (جدول ٣-٧) ... إلا أنه كانت تظهر فى كل جيل اختلافات قليلة فى أوزان البذور ، داخل كل نسل .

جدول (٣-٦) : تباين السلالات النقية لصنف الفاصوليا Princess في متوسط وزن البذرة ، وتأثير الانتخاب داخل كل سلالة لجيل واحد على متوسط وزن البذرة (عن Merrell ١٩٧٥) .

السلالة	متوسط وزن البذرة (بالسنتيجرام)	عدد البذور الممثلة للسلالة	وزن البذور المنتخبة كلمهات					
			٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠
			متوسط وزن بذرة النسل (يذكر عدد البذور الموزونة بين الأقواس)					
١	٦٤,٢	(١٤٥)					(٥٤)٦٣,١	(٩١)٦٤,٩
٢	٥٥,٨	(٤٧٥)			(٨٦)٥٧,٢	(١٩٥)٥٤,٩	(١٢٠)٥٦,٥	(٧٤)٥٥:٥
٣	٥٥,٤	(٢٨٢)				(١٤٤)٥٦,٤	(٤٠)٥٦,٦	(٩٨)٥٤,٤
٤	٥٤,٨	(٢٠٧)				(٣٢)٥٤,٢	(١٦٣)٥٣,٦	(١١٢)٥٦,٦
٥	٥١,٢	(٢٥٥)			(١٠٧)٥٢,٨	(٢٩)٤٩,٢		(١١٩)٥٠,٢
٦	٥٠,٦	(١٤١)		(٢٠)٥٣,٥	(١١١)٥٠,٨		(١٠)٤٢,٥	
٧	٤٩,٢	(٢٠٥)	(١٦)٤٥,٩		(٢٦٢)٤٩,٥		(٢٧)٤٨,٢	
٨	٤٨,٩	(١٥٩)		(٢٠)٤٩,٠	(١١٩)٤٩,١	(٢٠)٤٧,٥		
٩	٤٨,٢	(٢٤١)		(١١٧)٤٨,٥		(١٢٤)٤٧,٩		
١٠	٤٦,٥	(٥٣٣)		(٢٨)٤٢,١	(٤١٢)٤٦,٧	(٩٣)٤٦,٩		
١١	٤٥٥	(٤١٨)		(١١٤)٤٥,٢	(٢١٧)٤٥,٤	(٨٧)٤٦,٢		
١٢	٤٥,٥	(٨٣)	(١٤)٤٩,٦			(٤٢)٤٥,١	(٢٧)٤٤,٠	
١٣	٤٥,٤	(٧١٢)		(٩٣)٤٧,٥	(٢١٩)٤٥,٠	(٢٠٥)٤٥,١	(٩٥)٤٥,٨	
١٤	٤٥,٣	(١٠٦)		(٢١)٤٥,٤	(٥١)٤٦,٩		(٢٤)٤٢,٨	
١٥	٤٥,٠	(١٨٨)	(١٨)٤٦,٩			(١٣١)٤٤,٦	(٣٩)٤٥,٠	
١٦	٤٤,٦	(٢٧٣)		(١٤٧)٤٥,٩	(٩٠)٤٤,١	(٣٦)٤١,٠		
١٧	٤٢,٨	(٢٩٥)	(٧٨)٤٤,٠		(٢١٧)٤٢,٤			
١٨	٤٠,٨	(٣٥٧)	(٥٤)٤١,٠	(٢٠٣)٤٠,٧	(١٠٠)٤٠,٨			
١٩	٣٥,١	(٢١٩)		(٧٢)٣٥,٨	(١٤٧)٣٤,٨			

جدول (٣-٧) : تأثير انتخاب البذور الخفيفة والثقيلة لستة أجيال فى السلالة رقم ١ من صنف الفاصوليا Princess .

سنة الحصاد	متوسط وزن بذور الأمهات المنتخبة			متوسط وزن بذور النسل		
	الوزن الخفيف	الوزن الثقيل	الفرق	الوزن الخفيف	الوزن الثقيل	الفرق
١٩٠٢	٦٠	٧٠	١٠	٦٣,١٥	٦٤,٨٥	١,٧٠ +
١٩٠٣	٥٥	٨٠	٢٥	٧٥,١٩	٧٠,٨٨	٤,٣١ −
١٩٠٤	٥٠	٨٧	٣٧	٥٤,٥٩	٥٦,٦٨	٢,٠٩ +
١٩٠٥	٤٣	٧٣	٤٠	٦٣,٥٥	٦٣,٦٤	٠,٠٩ +
١٩٠٦	٤٦	٨٤	٣٨	٧٤,٣٨	٧٣,٠٠	١,٣٨ −
١٩٠٧	٥٦	٨١	٢٥	٦٩,٠٧	٦٧,٦٦	١,٤١ −

وقد توصل يوهانس – من هذه الدراسة – إلى أن نسل أى نبات ذاتى التلقيح يكون عبارة عن سلالة نقية لايجدى فيها الانتخاب ؛ ورغم أنه قد يظهر بين نباتاتها بعض الاختلافات ، إلا أنها تكون بيئية ولاتورث . ويفسر ذلك – وراثياً – على أساس أن التلقيح الذاتى المستمر فى النباتات الذاتية التلقيح يجعل كل نبات فى العشيرة أصيلا وراثياً . ونظرا لأن أية طفرة حدثت فى الماضى تكون قد انعزلت إلى فئتين من النباتات : أصيلة سائدة ، وأصيلة متنحية .. فإن نباتات العشائر الطبيعية قد تختلف عن بعضها وراثياً . ويؤدى التلقيح الذاتى لأى نبات منها إلى إنتاج سلالة نقية لاتظهر بها أية انعزالات وراثية ؛ لأنها تنتج من التلقيح الذاتى لنبات أصيل وراثياً ، وتتحدد الاختلافات بين هذه السلالات بمدى الاختلافات الوراثية بين النباتات التى انحدرت منها . وإذا ظهرت اختلافات بين نباتات كل سلالة .. فإن مردها يكون إلى البيئة ولاتورث . ويفسر ذلك الاختلافات التى حصل عليها يوهانس بين السلالات التسع عشرة ، ثم ثبات صفاتها بعد ذلك رغم استمرار انتخابه لأكبر البذور وأصغرها فى كل سلالة منها لستة أجيال .

يمكن – استناداً إلى ما تقدم – وصف السلالة النقية بأن جميع أفرادها تكون أصيلة وراثياً ، ومتماثلة تماماً مع بعضها فى تركيبها الوراثى ؛ أى إنها تكون 100% homozygous ، و 100% homogenous وغنى عن البيان .. أن أفرادها لاتكون أصيلة سائدة فقط أو أصيلة متنحية فقط فى جميع العوامل الوراثية ، بل إن العكس هو الصحيح ؛ حيث تكون بعض المواقع الجينية أصيلة سائدة ، وبعضها الآخر أصيلة متنحية .

الأصناف البلدية (غير المحسنة)

تعد الأصناف البلدية غير المحسنة land varieties عشائر طبيعية ، أدخلت فى الزراعة فى المناطق التى تنتشر فيها زراعة هذه الأصناف ، وهى تتميز بتأقلمها على الظروف البيئية السائدة ، وتحملها للآفات المنتشرة فى هذه المناطق ؛ لذا .. فإنها تعد مصدراً جيداً لهذه الصفات على الرغم من أنها قليلة التجانس ، وأقل محصولاً وجودة من الأصناف المحسنة .

تتميز عشائر الأصناف البلدية من المحاصيل الذاتية التلقيح بأنها قليلةالتجانس ؛ حيث تظهر اختلافات مظهرية واضحة بين أفرادها ويكون لها أساس وراثى ، كما أن كل فرد منها يكون أصيلاً وراثياً بدرجة عالية ، ولكن أصالتها الوراثية تظل – غالباً – أقل من ١٠٠٪ ، ويفسر ذلك على أساس أن ظهور أية طفرة يتبعه انعزال فئتين أصيلتين من النباتات ، تحتوى إحداهما على الجين الطبيعى وتحتوى الأخرى على الطفرة . ومن الطبيعى أن الطفرات تحدث فى نباتات مختلفة ، ثم تتأصل فى نسلها فقط ، بينما تظل بقية النباتات فى العشيرة خالية منها . ورغم ضآلة معدل ظهور الطفرات الطبيعية .. إلا أنها تظهر على مر السنين ، وفى عديد من المواقع الجينية وهو مايؤدى إلى عدم تجانس أفراد العشيرة الواحدة فى تركيبها الوراثى . ويساعد حدوث نسبة بسيطة من التلقيح الخلطى إلى ظهور عديد من الانعزالات الوراثية ، التى تتأصل مرة أخرى مع معاودة التلقيح الذاتى ؛ فتبقى النباتات أصيلة ، ولكن تزيد بالعشيرة حالة عدم التجانس الوراثى ، وبرغم أن التلقيح الذاتى يؤدى إلى الأصالة الوراثية التامة .. إلا أنها تظل أقل من ١٠٠٪ ؛ بسبب التلقيحات الخلطية القليلة التى قد تحدث – أحياناً – بين النباتات التى تختلف عن بعضها وراثيا .

الأصناف المحسنة الثابتة وراثياً

تعرف الأصناف المحسنة improved varieties غير الهجين من المحاصيل الذاتية التلقيح بأنها ثابتة وراثيا stable ، وذاتية الإكثار self – reproducing ، وصادقة التربية true-breeding ؛ وذلك لأن هذه الأصناف تكثّر بواسطة نسلها الناتج من التلقيح الذاتي الطبيعي ، ولاتتغير صفاتها من جيل إلى آخر . وتتميز هذه الأصناف بأنها تكون على درجة عالية من التجانس الوراثي highy homogenous لأنها تكثر – منذ بداية إنتاجها – من نباتات متجانسة مظهريا ووراثياً في جميع الصفات الاقتصادية المهمة ، كما تتم المحافظة عليها من أي خلط وراثي باستئصال النباتات المخالفة للصنف التي تظهر كطفرات – أولاً بأول – من حقول إنتاج البذور ، التي تعزل بدورها عن حقول الأصناف الأخرى بمسافة مناسبة ، تمنع حدوث أي خلط ميكانيكي أو وراثي . ويكون كل نبات في العشيرة أصيلاً وراثياً ، بدرجة تصل إلى ١٠٠٪ في جميع الصفات الاقتصادية المهمة ، ولكن تبقى دائما حالات قليلة من الخلط الوراثي heterozygosity في بعض المواقع التي لايكون لها تأثير مظهري واضح . وبينما ترجع الأصالة إلى التلقيح الذاتي المستمر .. فإن الخلط الوراثي يحدث عقب التلقيحات الخلطية التي تحدث بنسبة منخفضة بين أفراد تكون حاملة لأليلات مختلفة من هذه الجينات .

الأصناف الهجين

تستخدم الأصناف المحسنة الثابتة وراثياً ، أو السلالات النقية كآباء لإنتاج الأصناف الهجين من المحاصيل الذاتية التلقيح . ونظراً لأن أياً من الآباء المستخدمة يكون أصيلاً وراثياً ، ولاينتج سوى نوع واحد من الجاميطات .. لذا فإن اتحاد جاميطات الأبوين ينتج عنه تركيب وراثي واحد هو الصنف الهجين ؛ أي إن الصنف الهجين يكون متجانسا بنسبة ١٠٠٪ أو قريباً من ذلك . هذا وتختلف الآباء المستخدمة في إنتاج الصنف الهجين عن بعضها وراثياً – إلى حد كبير – (تزيد عادة قوة الهجين كلما بعدت القرابة بين الأبوين) وهو مايعني أن النباتات الهجين تكون على درجة عالية من الخلط الوراثي highly heterozygous .

عشائر النباتات الخلطية التلقيح

تتميز عشائر النباتات الخلطية التلقيح – التي تكثر بالتلقيح الخلطي الطبيعي بين

أفرادها – بأنها تكون غير متجانسة وراثياً heterogenous ، كما تكون أفرادها خليطة وراثيا heterozygous ، ولكن تتفاوت النوعيات المختلفة من عشائر هذه النباتات فى درجتى عدم التجانس والخلط الوراثى ، ويعد التلقيح الخلطى – الذى تكثر به هذه العشائر فى الطبيعة – المسئول الأول عن حالتى عدم التجاس والخلط الوراثى فيها لأنه يؤدى إلى تكوين وانعزال تراكيب وراثية جديدة بصفة دائمة ، بينما لاتتوفر الفرصة لحدوث تلقيح ذاتى ، يمكن أن يؤدى إلى تأصيل الصفات ... وتشترك جميع الجينات الموجودة فى العشيرة الواحدة ، التى تدخل فى شتى التراكيب الوراثية التى تمثل أفراد العشيرة فيما يسمى بمجمع الجينات gene pool الذى يعطى – فى المتوسط – نفس التأثير فى الشكل المظهرى من جيل إلى آخر مادام أنه لايحدث تغيير فى نسبة الأليلات المختلفة لكل جين فى العشيرة . ولكن يتحدد مصير الجين فى العشائر الطبيعية بمدى تأثيره فى الشكل المظهرى ؛ فإن كان تأثيره ضاراً .. فإن نسبته تقل تدريجياً ، والعكس صحيح . وإذا كان الجين ذو التأثير الضار مرتبطاً بجين آخر ذى تأثير مفيد .. فإن نسبة الجين الضار تبقى مرتفعة – إلى حد ما – بسبب الانتخاب الذى يحدث لصالح الجين المفيد المرتبط معه . ولكن يتوقف التوازن النهائى على مدى الضرر الذى يحدثه الجين الضار ، ومدى الفائدة التى تعود من الجين المفيد . وعندما تصل العشيرة إلى حالة التوازن .. فإن نسبة أليلات الجينات المختلفة تظل ثابتة من جيل لآخر مادامت الظروف البيئية لم تتغير .

وبناء على ما تقدم بيانه .. فليس هدف مربى المحاصيل الخلطية التلقيح هو البحث عن نبات ، أو مجموعة نباتات ذات تركيب وراثى جيد ، بل هو البحث عن مجمع للجينات تعطى أفرادها – معاً – أشكالاً مظهرية مرغوباً فيها ومتقاربة (رغم أنها تكون خليطة وتختلف وراثياً عن بعضها) مع دوام نفس التأثير جيلا بعد آخر . ويمكن القول .. إن مصير أى جين فى مجمع الجينات يتوقف على مدى تأثيره فى كل من الحالات التالية

١– الحالة الأصيلة .

٢– الحالة الخليطة مع الأليلات الأخرى للجين فى نفس الموقع .

٣– حالات الانعزالات التى تؤثر فيها جينات أخرى غير أليلية عليها (حالات التفوق epistasis) .

٤– حالات الارتباط الشديد مع الجينات الأخرى الضارة أوالمفيدة .

يتضح من كل ما تقدم أن فهم الأساس الوراثى للنباتات الخلطية التلقيح .. يتطلب دراسة الجينات فى العشائر ، ويعد قانون هاردى - فينبرج وسيلة لتحقيق هذا الهدف .

قانون هاردى - فينبرج

يستخدم قانون هاردى - فينبرج Hardy - Weinberg Law فى دراسة العشائر المندلية Mendelian populations ، وهى العشائر التى تتكون من أفراد تتزاوج مع بعضها جنسياً . وقد بدأت دراسة العشائر من الوجهة الوراثية منذ عام ١٩٠٨ ، حينما قدم كل من هاردى فى انجلترا ، و فينبرج فى المانيا (فى عام ١٩٠٩) قواعد جديدة لدراسة تكرار الجينات gene frequencies فى العشائر المندلية . ويُقصَد بالتكرار الجينى لجين ما فى العشيرة .. توضيح إن كان هذا الجين نادراً فى العشيرة أو غير نادر بالنسبة لآليلاته الآخرى الموجودة فى نفس العشيرة . وقد أظهر هاردى وفينبرج أن العشائر المندلية تحتوى على أى نسب لكل من الآليلات السائدة والمتنحية لأى جين دونما أية علاقة بالنسب المندلية المعروفة ، وأن التكرار النسبى لكل آليل يبقى ثابتاً من جيل إلى آخر ، بافتراض توفر الشروط التالية :

١- ألا يحدث انتخاب طبيعى ، أو انتخاب بواسطة الإنسان لصالح أى من التراكيب الوراثية فى العشيرة ، أو ضدها .

٢- أن يكون التزاوج بين أفراد العشيرة عشوائيا random mating ويقصد بذلك أن يكون لكل نبات نفس الفرصة لأن يُلَقَّح بحبوب لقاح من أى نبات آخر

٣- أن تكون العشيرة كبيرة بالقدر الذى يسمح بحدوث كل التزاوجات الممكنة بين أفرادها .

٤- ألا تحدث هجرة migration إلى العشيرة من عشائر مندلية أخرى .

٥- أن يكون معدل حدوث الطفرات الشائعة واحداً فى كلا الاتجاهين ، أى بنفس المعدل من A إلى a مثلاً ، كما هو من a إلى A .

٦- أن تتساوى جميع أفراد العشيرة فى حيويتها وخصوبتها .

وينص قانون هاردى - فينبرج على أنه إذا كانت نسبة الآليلين A و a فى عشيرة مندلية هى p و q على التوالى (حيث p+q = ١) .. فإن نسب التراكيب الوراثية المختلفة

تكون كما يلي :

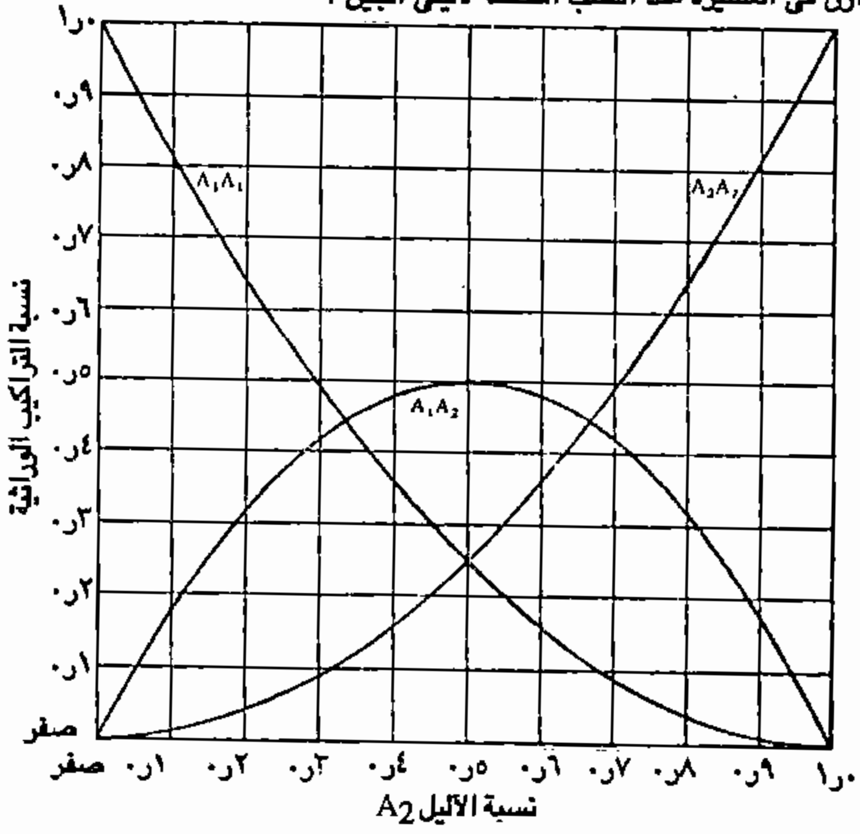
$$p^2 = AA$$

$$2pq = Aa$$

$$q^2 = aa$$

حيث $1 = q^2 + 2pq + p^2$

وتصل أية عشيرة إلى حالة التوازن الوراثي بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي ، وتظل على حالة التوازن هذه (من حيث نسب التراكيب الوراثية الأصيلة السائدة ، والخليطة ، والأصيلة المتنحية لكل موقع جيني) ما دامت شروط القانون قد تحققت . ويبين شكل (٣-٣) نسب التراكيب الوراثية المختلفة الأصيلة والخليطة ، التي تصل إليها حالة التوازن في العشيرة عند النسب المختلفة لأليلي الجين .



شكل (٣-٣) : نسب التراكيب الوراثية المختلفة الأصيلة والخليطة التي تصل إليها حالة التوازن في العشيرة عند النسب المختلفة لأليلي الجين . يبين المحور الأفقي نسبة الأليل A_2 ما نسبة الأليل A_1 فتكون قيمتها $1 - A_2$ عند كل قيمة لنسبة الأليل A_2 (Falconer ١٩٨١)

ويمكن إثبات قانون هاردى – فينبرج على النحو التالى : إذا افترضنا وجود زوج من الأليلات A_2 , A_1 فى أحد المواقع الجينية ، ورمزنا لنسب الأليلات والتراكيب الوراثية الأصيلة والسائدة كما يلى :

A_2A_2	A_1A_2	A_1A_1	A_2	A_1
التراكيب الوراثية			الجينات	
Q	H	P	q	p

فإن ذلك يعنى وجود ٩ تزاوجات عشوائية ممكنة بين التراكيب الوراثية المختلفة يمكن أن تأخذ الرموز التالية :

التراكيب الوراثية ونسبتها فى الأم			A_1A_1 P	A_1A_2 H	A_2A_2 Q
			التراكيب الوراثية ونسبتها فى الأب		
A_1A_1	P		P^2	PH	PQ
A_1A_2	H		PH	H^2	HQ
A_2A_2	Q		PQ	HQ	Q^2

ونظراً لأنه لايهم مصدر الجاميطات أهى من الأب أم من الأم ؛ لذا .. فإنه يمكن ضم أنواع ونسب الجاميطات معاً ، كما يظهر فى العمود الأيمن من جدول (٣ – ٨) . يلاحظ فى الجدول أن التزاوج $A_1A_1 \times A_1A_1$ يحدث بنسبة p2 ، وينتج منه تركيب وراثى واحد هو A_1A_1 تكون نسبته p2 أيضاً أما التراكيب $A_1A_2 \times A_1A_2$ الذى يحدث بنسبة H^2 فإنه ينتج التراكيب الوراثية الثلاثة A_1A_1 بنسبة $\frac{1}{4}H^2$ ، و A_1A_2 بنسبة $\frac{1}{2}H^2$ ، و A_2A_2 بنسبة $\frac{1}{4}H^2$. وبذا .. فإنه يمكن الحصول على التراكيب الوراثية التى تنتج من كل تزاوج ونسبتها . تظهر محصلة جميع التزاوجات أسفل الجدول ؛ حيث يتبين أن نسبة التراكيب الوراثية المتحصل عليها من جميع التزاوجات هى p2 ، و 2pq ، وq2 للتراكيب الوراثية A_1A_1 ، A_1A_2 ، و A_2A_2 على التوالى ، وهو ما يثبت وصول

العشيرة إلى حالة التوازن بعد جيل واحد من التلقيح العشوائى (Falconer ١٩٨١) .

جدول (٣ – ٨) : نسب التراكيب الوراثية المتحصل عليها بعد جيل واحد من التزاوج العشوائي مشيرة ، يوجد فيها ثلاثة تراكيب وراثية هى A_1A_1 بنسبة P ، وA_1A_2 بنسبة H ، وA_2A_2 بنسبة Q .

التزاوج		التراكيب الوراثية التي تنتج من التزاوجات ونسبتها		
نوع التزاوج	نسبته	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
$A_1A_1 \times A_1A_1$	P^2	P^2	—	—
$A_1A_1 \times A_1A_2$	2PH	PH	PH	—
$A_1A_1 \times A_2A_2$	2PQ	—	2PQ	—
$A_1A_2 \times A_1A_2$	H^2	$\frac{1}{4}H^2$	$\frac{1}{2}H^2$	$\frac{1}{4}H^2$
$A_1A_2 \times A_2A_2$	2HQ	—	HQ	HQ
$A_2A_2 \times A_2A_2$	Q^2	—	—	Q^2
	المجموع	$(P+\frac{1}{2}H)^2$	$2(P+\frac{1}{2}H)(Q+\frac{1}{2}H)$	$(Q+\frac{1}{2}H)^2$
		p^2	$2pq$	q^2

وكمثال على ما تقدم بيانه .. نفترض أن المربى كون عشيرة بزراعة ٢٠ نباتاً أصيلاً متنحياً (aa) مع ٤٠ نباتاً خليطاً (Aa) ، و ٤٠ نباتاً أصيلاً سائداً (AA) فى إحدى الصفات والمطلوب هو معرفة هل هذه العشيرة فى حالة توازن ؟ وإن لم تكن كذلك .. فمتى تصل إلى حالة التوازن ؟ وما حالة التوازن التى تصل إليها حينئذ ؟ وتتطلب الإجابة عن هذه الأسئلة أن نفترض حدوث تلقيح عشوائى بين هذه النباتات ، لنعرف ماسيكون عليه وضع العشيرة فى الجيل التالى .

عندما تكّون هذه العشيرة جاميطاتها المذكرة والمؤنثة .. فإنها تكون على النحو التالى : تنتج الآباء حبوب لقاح تحمل الأليل (A) ، وتكون نسبتها p = ٠,٤ (من التراكيب الوراثية

AA) + ٠,٢ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٦ ، كما تنتج حبوب لقاح أخرى تحمل الأليل (a) تكون نسبتها q = ٠,٢ (من التراكيب الوراثية Aa) + ٠,٢ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٤ وتنتج الأمهات – فى نفس الوقت – بيضات تحمل الأليل (A) بنسبة p = ٠,٦ ، وبيضات تحمل الأليل (a) بنسبة q = ٠,٤ أيضاً . ويؤدى التزاوج الاعتباطى بينها إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المختلفة فى الجيل الثانى كما يلى :

	الأمهات	
الآبــــــــاء	A = p = ٠,٦	a = q = ٠,٤
A = p = ٠,٦	AA = p2 = ٠,٣٦	Aa = pq = ٠,٢٤
a = q = ٠,٤	Aa = pq = ٠,٢٤	aa = q2 = ٠,١٦

أى إن AA = p2 = ٠,٣٦ ، و Aa = 2pq = ٠,٤٨ ، و aa = q2 = ٠,١٦ وتلك هى حالة التوازن التى تصبح عليها العشيرة ، وهى التى تصل إليها بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى ، تبعًا لقانون هاردى – فينبرج .

ولإثبات أن هذا الوضع الجديد هو – فعلا– حالة التوازن التى تظل عليها العشيرة .. نفترض حدوث تلقيح خلطى مرة أخرى ؛ لنعرف ما سيكون عليه وضع العشيرة بعد جيل آخر من التلقيح العشوائى . وتنتج هذه العشيرة حبوب لقـــاح ، تحمل الأليل (A) بنسبة q = ٠,٣٦ (من التراكيب الوراثية AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٦٠ ، كما تنتج حبوب لقاح أخرى تحمل الأليل (a) تكون نسبتها q = ٠,١٦ (من التراكيب الوراثية aa) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٤٠ وتنتج الأمهات –فى الوقت نفسه - بيضات تحمل الأليل (A) بنسبة p = ٠,٦ ، وبيضات تحمل الأليل (a) بنسبة q = ٠,٤ أيضًا . ويلاحظ أن نسب الجاميطات المتكونة هى نفس النسب التى كانت عليها الجاميطات فى الجيل السابق ؛ لذا .. فإن التزاوج الاعتباطى بينها لايغير من نسب التراكيب الوراثية المختلفة فى العشيرة . أى إن العشيرة كانت قد وصلت بالفعل إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى ، وتظل على هذا الوضع مادامت شروط تطبيق القانون قد تحققت .

ويطبق القانون – أيضاً – فى حالة وجود ثلاثة آليلات للجين فى العشيرة ، وينص القانون – فى هذه الحالة– على أنه إذا كانت نسبة الآليلات A_1 ، و A_2 ، و A_3 فى عشيرة مندلية هى p ، و q ، و r على التوالى (حيث $p + q + r = 1$) ، فإن نسب التركيب الوراثية المختلفة تكون كما يلى :

$$p^2 = A_1A_1$$

$$q^2 = A_2A_2$$

$$r^2 = A_3A_3$$

$$2pq = A_1A_2$$

$$2pr = A_1A_3$$

$$2qr = A_2A_3$$

حيث $p^2 + q^2 + r^2 + 2pq + 2pr + 2qr = 1$

وتصل أية عشيرة إلى حالة التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التزاوج العشوائى ، وتظل على حالة التوازن هذه مادامت شروط القانون قد تحققت .

وسواء وجدت ثلاثة آليلات أم أكثر من كل جين .. فإن اهتمام المربى يكون منصباً على أليل واحد منها وينظر إلى بقية الآليلات مجتمعة كأليل ثانٍ . وبذا .. يستمر استعمال القانون بنفس طريقة استعماله عند وجود أليلين فقط للجين .

ويستخدم قانون هاردى – فينبرج فى تقدير مدى التقدم الذى يمكن إحرازه فى تنقية عشيرة ماخلطية التلقيح ، من صفة متنحية غير مرغوب فيها ، علما بأن الجينات التى تتحكم فى مثل هذه الصفات .. تظل دائماً مختفية فى الحالة الخليطة . ويؤدى التخلص من النباتات المتنحية الأصلية – التى تظهر بها الصفة قبل الإزهار– إلى إحراز تقدم كبير فى خفض نسبة الأليل المتنحى غير المرغوب فيه (أى خفض q) فى الأجيال الأولى من الانتخاب ، عندما تكون قيمة q أصلا كبيرة ، ثم يقل مدى التقدم الذى يمكن إحرازه فى كل جيل من الانتخاب ، كلما انخفضت قيمة q كما يتبين من جدول (٣–٨) . أما إذا اجرى الانتخاب (استبعاد النباتات غير المرغوب فيها) بعد الإزهار .. فإن الانخفاض فى

قيمة q يقل معدله بعد كل جيل من الانتخاب إلى نصف ماتكون عليه الحال عند إجراء الانتخاب قبل الإزهار ؛ لأن حبوب اللقاح التى تخصب بويضات النباتات المنتخبة تكون من كل من النباتات المرغوب فيها وغير المرغوب فيها على حد سواء .

جدول (٣-٩) تأثير استبعاد جميع الأفراد الحاملة لصفة متنحية غير مرغوب فيها (q^2) على نسبة الآليل المتنحى (q) فى عشيرة مندلية خلطية التلقيح (عن Burns ١٩٨٣)

عدد الأجيال الانتخابية ضد الصفة	نسبة الآليل المتنحى (q)
صفر (جيل عشيرة الأساس)	٠,٥٠٠
[illegible]	٠,٣٣٣
٢	٠,٢٥٠
٣	٠,٢٠٠
[illegible]	٠,١٦٧
[illegible]	٠,١٤٣
[illegible]	٠,١٢٥
[illegible]	٠,١١١
[illegible]	٠,١٠٠
[illegible]	٠,٠٩١
[illegible]	٠,٠٨٣
[illegible]	٠,٠١٩
[illegible]	٠,٠١٠
[illegible]	٠,٠٠١

وكمثال على ماتقدم بيانه .. نفترض أن عشيرة فى حالة توازن كانت فيها نسبة النباتات المتنحية الأصيلة aa = q^2 = ٠,٣٦ . ويعنى ذلك أن نسبة الآليل المتنحى (a) = q = $\sqrt{٠,٣٦}$ = ٠,٦ ، وأن نسبة الآليل السائد (A) = p = ١-q = ١-٠,٦ = ٠,٤ ؛ وبهذا .. تكون نسبة التركيب الوراثى السائد الأصيل AA = p^2 = ٠,٤ × ٠,٤ = ٠,١٦ ، ونسبة التركيب الوراثى السائد الخليط Aa = 2pq = ٢ × ٠,٤ × ٠,٦ = ٠,٤٨ .

فإذا أمكن التخلص من جميع النباتات التى تحمل التركيب الوراثى المتنحى aa قبل الإزهار .. فإن النباتات المتبقية تكون آباء وأمهات للجيل التالى ، وتنتج جاميطاتها على

النحو التالى : تتكون حبوب لقاح تحمل الأليل السائد (A) تكون نسبتها p = [٠,١٦ (من التراكيب الوراثية AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى)] = ٠,٦٢٥ ، كما تتكون أيضاً حبوب لقاح تحمل الأليل المتنحى (a) تكون نسبتها = q = ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات للجيل التالى) = ٠,٣٧٥ . وتتكون فى الوقت نفسه بيضات بالطريقة نفسها ، تكون نسبتها p = ٠,٦٢٥ للبيضات الحاملة للأليل السائد (A) ، وq = ٠,٣٧٥ للبيضات الحاملة للأليل المتنحى (a) . ويلاحظ أن مجموع $q+p$ = ٠,٦٢٥ + ٠,٣٧٥ = ١,٠ ، وهو مايؤكد دقة الحسابات . يؤدى التزاوج الاعتباطى بين هذه الجاميطات ، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة فى الجيل التالى كما يلى :

	الأمهات	
الآبـــــــاء	A = p = ٠,٦٢٥	a = q = ٠,٣٧٥
A = p = ٠,٦٢٥	AA = p^2 = ٠,٣٩١	Aa = pq = ٠,٢٣٤
a = q = ٠,٣٧٥	Aa = pq = ٠,٢٣٤	aa = q^2 = ٠,١٤١

أى إن AA = p^2 = ٠,٣٩١ ، وAa = $2pq$ = ٠,٤٦٨ ، وaa = q^2 = ٠,١٤١ (يلاحظ أن مجموع التراكيب الوراثية = ١,٠ ، وهو مايؤكد دقة الحسابات) . يتضح مما تقدم .. أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة -قبل الإزهار- أدى إلى تخفيض نسبة الأليل (a) فى العشيرة من ٠,٦ إلى ٠,٣٧٥ [=٠,١٤١ + (٠,٤٦٨ ÷ ٢)] ، ونسبة النباتات المتنحية الأصيلة من ٠,٣٦ إلى ٠,١٤١ بعد جيل واحد من الانتخاب .

أما إذا لم يمكن التخلص من النباتات التى تحمل التركيب الوراثى المتنحى aa إلا بعد الإزهار .. فإن ذلك يعنى أن هذه النباتات سوف تشارك بحبوب اللقاح فى مجمع الجينات ولكنها لاتشارك بالبيضات ؛ وبذا .. فإن نسب الجاميطات الحاملة للأليلين (A) ، و (a)

سوف تختلف بين حبوب اللقاح والبيضات على النحو التالى :

تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل (A) ، تكون نسبتها p = ٠,١٦ (من التراكيب الوراثية AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٤ ، كما تتكون حبوب لقاح تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها q = ٠,٣٦ (من التراكيب الوراثية aa) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) = ٠,٦ . يلاحظ أن مجموع q+p = ٠,٤ + ٠,٦ = ١,٠ .

تتكون – أيضاً – بيضات تحمل الآليل (A) ، تكون نسبتها p =[٠,١٦ (من التراكيب الوراثية AA) + ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات المؤنثة)] = ٠,٦٢٥ ، كما تتكون – أيضاً – بيضات تحمل الآليل المتنحى (a) تكون نسبتها q = ٠,٢٤ (من التراكيب الوراثية Aa) ÷ ٠,٦٤ (مجموع نسب التراكيب الوراثية التى تشارك فى إنتاج الجاميطات المؤنثة للجيل التالى) = ٠,٣٧٥ . يلاحظ أن مجموع q+p = ٠,٦٢٥ + ٠,٣٧٥ = ١,٠ ، وهو ما يؤكد دقة الحسابات . يؤدى التزاوج الاعتباطى بين الجاميطات المذكرة والمؤنثة المتكونة ، إلى أن تصبح نسب التراكيب الوراثية المتكونة فى الجيل التالى على النحو التالى :

	الأمهات	
الآبــــــــاء	A = p = ٠,٦٢٥	a = q = ٠,٣٧٥
A = p = ٠,٤	AA = p^2 = ٠,٢٥٠	Aa = pq = ٠,١٥٠
a = q = ٠,٦	Aa = pq = ٠,٣٧٥	aa = q^2 = ٠,٢٢٥

أى إن AA = p^2 = ٠,٢٥٠ ، وAa = (2pq) = ٠,٥٢٥ ، وaa = q^2 = ٠,٢٢٥ (يلاحظ أن مجموع نسب التراكيب الوراثية = ١,٠ ، وهو ما يؤكد دقة الحسابات) . يتبين مما تقدم .. أن استبعاد جميع النباتات الحاملة للصفة الأصيلة بعد الإزهار أدى إلى خفض نسبة الآليل (a) فى العشيرة من ٠,٦ إلى ٠,٤٨٧٥ [=٠,٢٢٥ +(٠,٥٢٥÷٢)] ، ونسبة النباتات المتنحية الأصلية من ٠,٣٦ إلى ٠,٢٢٥ بعد جيل واحد من الانتخاب .

ويتضح – لدى مقارنة الانتخاب قبل الإزهار بالانتخاب بعده – أن مقدار الانخفاض فى

٤

نسبة الآليل غير المرغوب فيه كان : ٠,٦ - ٠,٣٧٥ = ٠,٢٢٥ عندما أجرى الانتخاب قبل الإزهار ، بينما كان ٠,٦ - ٠,٤٨٧٥ = ٠,١١٢٥ عندما أجرى الانتخاب بعد الإزهار . أى إن فاعلية الانتخاب قبل الإزهار كانت ضعف فاعلية الانتخاب بعد الإزهار .

الأصناف البلدية (غير المحسنة)

تتميز الأصناف البلدية غير المحسنة من المحاصيل الخلطية التلقيح بأنها تكون على درجة عالية من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous ، الذى يكون مصاحباً بقدر كبير من عدم التجانس المورفولوجى ؛ لأن نباتات العشيرة تكون غالبا غير متجانسة فى كل من الصفات الاقتصادية الظاهرة وغير الظاهرة (وهى التى يلزمها التعرض لظروف بيئية معينة ؛ حتى يمكن تمييزها) على حد سواء . وبالإضافة إلى ذلك .. فإن كل نبات فى العشيرة يكون خليطاً بدرجة عالية highly heterozygous . ويكون مرد ذلك كله إلى التلقيح الخلطى ، مع حالة الإهمال التى تعامل بها الأصناف البلدية -عادة- حيث لاتجرى محاولات لتحسينها ، وجعلها أكثر تجانساً .

الأصناف المحسنة المفتوحة التلقيح

يطلق على الأصناف المحسنة التى تكثر بالتلقيح الخلطى الطبيعى العشوائى بين أفرادها اسم الأصناف المفتوحة التلقيح Open-pollinatod Varieties . ونظراً لأن هذه الأصناف تعد محسنة ؛ لذا .. فإنها تكون -عادة- أصيلة فى الصفات الاقتصادية المهمة ، خاصة النوعية منها ؛ فإذا كان الصنف المفتوح التلقيح المحسن مقاومًا لمرض معين ، أو يتميز بلون أو شكل معين للثمار .. فإن جميع نباتات الصنف تكون أصيلة ومتجانسة فى هذه الصفات . كما يحاول المربى -أيضاً- تأصيل الصفات الكمية المهمة ، ولكن هذا الهدف ربما لايتحقق كاملاً ؛ وبذا .. يبقى جزء من الجينات التى تتحكم فى الصفات الكمية الاقتصادية ، والجينات الأخرى التى تتحكم فى الصفات غير المنظورة بحالة خليطة ، ويتحدد المظهر العام للعشيرة بحالة التوازن التى تصل إليها نسب أليلات كل جين ، تبعاً لقانون هاردى - فينبرج . ويساعد التلقيح الخلطى المستمر على بقاء النباتات خليطة heterozygous ، والعشيرة غير متجانسة heterogenous فى هذه الصفات . وتتوقف درجتا الخلط وعدم التجانس الوراثى على نسبة المواقع الجينية غير الأصيلة ، وهى

التى تقل كلما أعطى المربى اهتماماً أكبر لتجانس الصفات فى العشيرة ، قبل نشر زراعتها كصنف جديد .

السلالات المرباة داخلياً

تستعمل السلالات المرباة داخلياً Inbred lines من المحاصيل الخلطية التلقيح كآباء فى الهجن التجارية ، وهى تنتج بالتلقيح الذاتى الصناعى المستمر لعدة أجيال ، وهو مايعرف بالتربية الداخلية Inbreeding ، ويغطى هذا الموضوع بالتفصيل فى الفصل الخاص بالأصناف الهجين .

تتميز السلالات المرباة - داخليًا - بأنها تكون على درجة عالية من التجانس الوراثى highly homogenous، وأن نباتاتها تكون على درجة عالية من الأصالة الوراثية highly homozgyous ، ولكن بدرجة أقل مما فى السلالات النقية pure lines التى يكون تجانسها وأصالتها الوراثية تامين ؛ ويرجع السبب فى ذلك إلى أن التلقيح الذاتى الصناعى المتبع فى إنتاج السلالات المرباة داخليًا نادراً مايدوم لأكثر من ستة أجيال ، ثم تكثر السلالات - بعد ذلك - بالتلقيح الخلطى بين نباتات كل سلالة sib pollination . ويسمح هذا العدد من أجيال التلقيح الذاتى بوجود نسبة بسيطة من الأفراد الخليطة فى كل موقع جينى لم يكن بحالة أصيلة منذ البداية ، كما يؤدى إكثار السلالة بالتلقيح الخلطى بين نباتاتها إلى حدوث بعض الانعزالات الوراثية ، وهو مايجعلها أقل تجانساً من السلالات النقية .

ونظراً لأن بعض الأنواع النباتية تتدهور بشدة مع التربية الداخلية ؛ لذا .. فإن المربى يلجأ إلى إكثارها بالتلقيح الخلطى بين نباتات النسل الواحد بعد الجيل الثالث ، أو الرابع للتلقيح الذاتى ، ويقابل ذلك نقص فى كل من درجتى التجانس الوراثى والأصالة الوراثية

الأصناف الهجين

تتشابه هجن المحاصيل الخلطية التلقيح مع هجن المحاصيل الذاتية التلقيح فى كونها على درجة عالية من التجانس الوراثى highly homogenous ، وأن نباتاتها خليطة وراثيًا بدرجة عالية highly heterozygous . ويقال فى تفسير ذلك ماسبق ذكره بالنسبة

لهجن المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ لأن الآباء التى تستخدم فى إنتاج الهجن فى كليهما عبارة عن سلالات أصيلة لاتنعزل . ويشذ عن ذلك هجن بعض المحاصيل الخطلية التلقيح ، التى تتدهور بشدة بالتربية الداخلية ، والتى لايمكن إكثار سلالاتها المرباة داخلياً بالتلقيح الذاتى بعد الجيل الثالث .

عشائر النباتات الخضرية التكاثر

يؤدى تراكم الطفرات المستمر فى النباتات الخضرية التكاثر إلى جعلها على درجة عالية من الخلط الوراثى highly heterozygous ، خاصة أنها تتكاثر –خضريًا– ولاتمر بالتلقيح الذاتى ؛ فإذا حدثت طفرة ، وغيرت موقعاً جينياً مثلا من AA إلى Aa .. فإنه يبقى على هذه الصورة مع استمرار الإكثار الخضرى . ويؤدى ظهور مزيد من الطفرات على مر السنين –فى نسل نفس النبات الذى ظهرت فيه الطفرة– إلى أن يصبح النبات خليطا بدرجة كبيرة ، وهذا هو الطابع العام المميز لجميع عشائر النباتات الخضرية التكاثر ، ولكنها تختلف فيما بينها فى درجة التجانس الوراثى homogenity بين أفرادها .

العشائر الطبيعية

تتميز العشائر الطبيعية من النباتات الخضرية التكاثر بأنها تكون على درجة عالية من عدم التجانس الوراثى higly heterogenous ، ويرجع ذلك إلى أن الطفرة التى تظهر فى نبات ماتظل محصورة فى نسل هذا النبات فقط . ونظراً لأن الطفرات تظهر عشوائياً فى أى نبات ؛ لذا .. نجد أن العشيرة الطبيعية تتباين كثيراً فى صفاتها الوراثية ، ويكون ذلك مصاحباً بتباين مماثل فى الشكل المظهرى لنباتاتها .. وتكون العشائر الطبيعية على درجة عالية من الخلط الوراثى ؛ مثل بقية عشائر النباتات الخضرية التكاثر .

الأصناف البلدية غير المحسنة

تتشابه الأصناف البلدية غير المتجانسة مع العشائر الطبيعية –وراثيًا– إلى حد كبير ، إلا أنها تكون على درجة أعلى من التجانس الوراثى بين أفرادها ؛ بسبب اهتمام المزارعين بإكثار النباتات المتميزة فى صفاتها . وبرغم أن نباتات البستان الواحد قد تكون متجانسة

إلى حد ما .. إلا أن الصنف – عامة – يبقى غير متجانس إلى حد كبير ، ويمكن ملاحظة اختلافات كبيرة بين نباتات الصنف الواحد من مزرعة إلى أخرى .

الأصناف المحسنة

تكون الأصناف المحسنة على درجة عالية من الخلط الوراثى highly heterozygous ؛ كغيرها من عشائر النباتات الخضرية التكاثر ، إلا أنها تكون على درجة عالية جداً من التجانس الوراثى highly homogenous ؛ ذلك لأنها تنشأ بالأكثار الخضرى لنبات واحد متميز . ولاتحدث اختلافات وراثية بينها ، إلا إذا ظهرت طفرات فيها ، ولم ينتبه إليها ، وظلت تكثر مع الصنف الأصلى ؛ حيث تتميز –حينئذ– سلالات جديدة من كل صنف ، قد تكثر منفردة بدورها ، وتصبح أصنافاً جديدة .

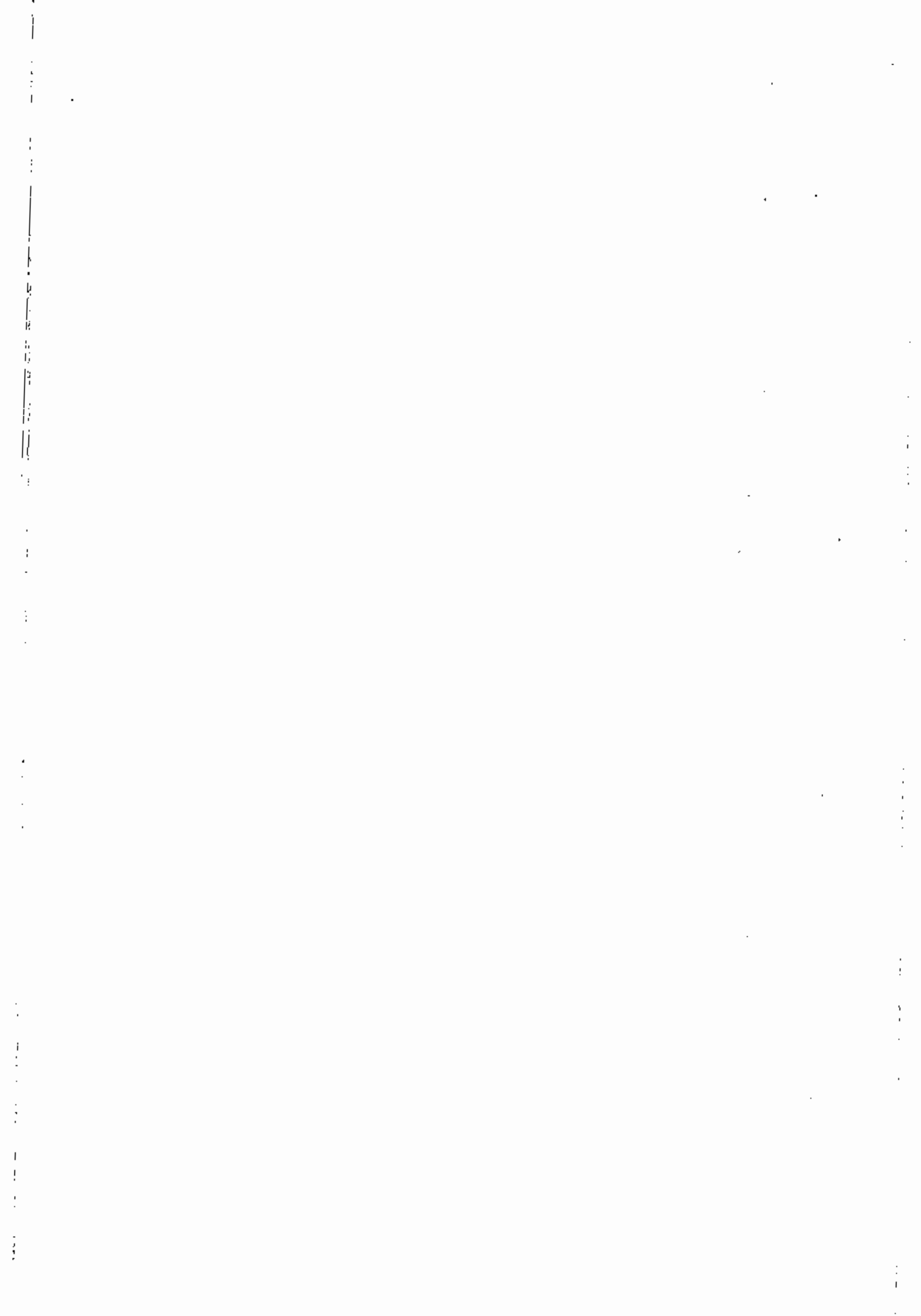
السلالات الخضرية

إن السلالة الخضرية Clone هى النسل الناتج من الإكثار الخضرى لنبات واحد ، ويمكن أن ينتمى النسل الناتج من الإكثار الخضرى لنباتات السلالة الخضرية إلى نفس السلالة الخضرية أيضاً مادام أنه قد أمكن تتبع النسب ، مع التأكد من عدم ظهور طفرات بها .

وبينما تكون نباتات السلالة الخضرية على درجة عالية من الخلط الوراثى (مثل باقى عشائر النباتات الخضرية التكاثر) .. فإنها تكون متجانسة بنسبة ١٠٠٪ 100% homogenous ؛ لأن مرد جميع أفرادها يكون إلى نبات واحد أكثر خضرياً . ويفسر ذلك عدم جدوى الانتخاب فى السلالة الخضرية .

الهجـــن

إن هجن النباتات الخضرية التكاثر ليست سوى أصناف محسنة ، نشأت بالإكثار الخضرى لنبات هجين جيد الصفات ؛ وبذا .. فإنها تتشابه مع الأصناف المحسنة فى كون نباتاتها على درجة عالية من الخلط الوراثى highly heterozygous ، بينما تكون أفراد العشيرة الواحدة على درجة عالية من التجانس highly homogenous .



الفصل الرابع

وراثة الصفات الكمية

سبق تعريف الصفات الكمية بأنها الصفات التي يوجد فيها استمرار في الشكل المظهري، والتي تتدرج من مستوى إلى آخر دون وجود فواصل محددة بين المستويات المختلفة ، كما في صفات الطول ، والمحصول ، وقوة النمو ، وموعد النضج ... إلخ ، ونظراً لأن دراستها تستدعي القياس؛ لذا فإنها تسمى metrical traits أي الصفات المقيسة. وبرغم أن بعض الصفات الكمية يتحكم في وراثتها جين واحد رئيسي major gene إلا أن غالبيتها يتحكم فيها عدد كبير من العوامل الوراثية multiple factors . وبينما تدرس الفئة الأولى منها كصفات بسيطة ، يمكن – غالبا – تمييز مجاميع أفرادها وعدّها في الأجيال الانعزالية .. فإن دراسة الفئة الثانية منها يدخل في نطاق علم الوراثة الكمية Quantitative Genetics وهو موضوع هذا الفصل ، الذي يستمد أهميته من أن الصفات الكمية تشكل أهم الصفات الاقتصادية التي يهتم بها المربي ، في الوقت الذي تحتاج فيه إلى طرق خاصة في دراستها ، وتداولها عند التربية .

خصائص الوراثة الكمية

يعد كل من نلسون ايلى Nilson - Ehle (١٩٠٨ – ١٩٠٩) في السويد ، وإيست East(١٩٠٦ – ١٩٣٦) في الولايات المتحدة الأمريكية من أوائل العلماء الذين تناولوا الصفات الكمية بالدراسة، وهما اللذان أثبتا أن الصفات الكمية تسلك في وراثتها سلوك الصفات الوصفية .

قام نلسون ايلى بإجراء تلقيح بين سلالتين نقيتين من القمح ، إحداهما حمراء الحبوب ، والأخرى بيضاء ؛ فكانت حبوب الجيل الأول وسطاً بين صفتي الأبوين ، أى كانت السيادة غير تامة ، وتدرجت حبوب الجيل الثانى من اللون الأحمر القاتم إلى اللون الأبيض وأمكن تمييزها إلى خمس فئات مظهرية كانت بنسبة ١ : ٤ : ٦ : ٤ : ١ .

فسّر نلسون ايلى هذه النتائج على أساس أن صفة لون الحبوب يتحكم فيها زوجان من الجينات المتفارقة المتماثلة التأثير ؛ أى إن كلاً منها مماثل للآخر فى تأثيره فى إظهار صفة لون الحبوب الحمراء ، وأن تأثير هذه الجينات مُجَمَّع cumulative ؛ بمعنى أنه كلما زاد عدد الجينات السائدة كان اللون الأحمر أكثر تركيزاً .

أما إيست .. فقد درس وراثة طول الزهرة (طول التويج) فى الدخان ، وهى صفة قليلة التأثر بالعوامل البيئية ، وأجرى إيست تلقيحاً بين سلالتين نقيتين من الدخان البرى *Nicotiana longiflora* تختلفان اختلافاً واضحاً فى طول الزهرة ، وحصل على النتائج المبينة فى جدول (٤ - ١) ، ثم درس الاختلافات بين الآباء وأفراد الأجيال الأول والثانى والثالث ، وتوصل منها (وكذلك من دراسات أخرى أجراها على طول الكوز فى الذرة) إلى ما يلى :

١- تتشابه الاختلافات التى تظهر بين نباتات الجيل الأول - والناتجة من التلقيح بين أفراد نقية - مع الاختلافات التى تظهر بين نباتات الآباء ، وتكون جميعها اختلافات راجعة إلى الظروف البيئية فقط .

٢- تظهر اختلافات أكبر فى الجيل الثانى ؛ نتيجة لحدوث الانعزالات الوراثية ، ويمكن الحصول على التراكيب الوراثية للأبوين إذا زرع عدد كاف من النباتات فى هذا الجيل .

٣- تعطى النباتات المختلفة مظهرياً فى الجيل الثانى أنسالاً ذات متوسطات مختلفة فى الجيل الثالث .

وقد نجح إيست فى تطبيق قوانين مندل على الصفات الكمية التى درسها .

ويمكن تلخيص أهم خصائص وراثة الصفات الكمية فى أنه يتحكم فيها عدة عوامل وراثية ، ذات تأثير كبير واضح ، يطلق عليها عادة اسم major genes ، وعوامل وراثية

جدول (٤-١) : التوزيع التكرارى لطول تويج الزهرة فى نباتات الآباء (P_1 ، و P_2) ، والجيل الأول (F_1) ، والجيل الثانى (F_2) للتلقيح بين سلالتين نقيتين من *Nicotiana longiflora* .

الجيل	سنة الزراعة	مركز مجموعات التوزيع التكرارى (مم) ٣٤	٣٧	٤٠	٤٣	٥٢	٥٥	٥٨	٦١	٦٤	٦٧	٧٠	٧٣	٧٦	٧٩	٨٢	٨٥	٨٨	٩١	٩٤	٩٧	١٠٠	العدد الكلي	المتوسط	الانحراف القياسي	معامل الاختلاف
P_1	١٩١١		١٢	٨٠	٣٢																		١٢٥	٤٠,٥	١,٧٥	٤,٣٣
P_1	١٩١٢	١	٤	٢٨	١٦																		٤٩	٤٠,٦	٢,٠٠	٤,٩٢
P_1	١٩١٣		٤	٣٢	١																		٣٧	٣٩,٨	١,٠٩	٢,٧٤
F_1	١٩١١						٤	١٠	٤١	٧٥	٤٠	٣											١٣٧	٦٣,٥	٢,٩٢	٤,٦٠
P_2	١٩١١																	٦	٢٢	٤٩	١١		٨٨	٩٣,٥	٢,٢٩	٢,٤٦
P_2	١٩١١																	٢	١٦	٣٢	٦	١	٤٧	٩٣,٤	٢,٢٣	٢,٣٩
P_2	١٩١١																	٥	٧	١٠	٢		٢٤	٩٢,١	٢,٧٠	٢,٩٣
(١)F_2	(أ)١٩١٢					١	٥	١٦	٢٣	١٨	٦٢	٣٧	٢٥	١٦	٤	٢	٢						٢١١	٩٧,٥	٥,٩١	٨,٧٥
(٢)F_2	(أ)١٩١٢					٢	٤	٢	٢٤	٣٧	٣١	٢٨	٣٥	٢٧	٢١	٥	٦	١					٢٢٣	٦٩,٨	٦,٧٩	٩,٧٣

(أ) حصل على نسلى الجيل الثانى من نباتى جيل أول كانا ناميين فى سنة ١٩١٢

أخرى كثيرة ذات تأثير بسيط ، يطلق عليها اسم polygenes (وتسمى - أحيانا - الجينات الثانوية minor genes) . وتعد الجينات الثانوية أكثر تأثراً بالعوامل البيئية من الجينات الرئيسية ، ولكن لايمكن قياس تأثير البيئة على كل عامل منها على حدة. وبينما يكون تأثير الجينات الرئيسية فى الشكل المظهرى كبيراً .. فإن تأثير الجينات الثانوية لايظهر إلا بعد تجمع عدد كبير منها فى التركيب الوراثى ، وتعد هى الأساس فى التطور وعملية الانتخاب الطبيعى .

تتميز الجينات الثانوية - أيضا - بأنها تنعزل بكثرة ، وتتوزع على أعداد كبيرة من التراكيب الوراثية (= ٣ ^ن^ حيث ن هى عدد أزواج الجينات التى يختلف فيها الأبوان) ، وتتميز كذلك بأن الشكل المظهرى لا يتأثر كثيراً بإحلال جين محل آخر. لذا .. فإن تراكيب وراثية كثيرة يمكن أن تعطى نفس الشكل المظهرى ؛ كما تكون معظم العشائر الخلطية التلقيح خليطة إلى حد كبير فى هذه العوامل . وأخيرا .. فإن هذه الجينات الثانوية (أو الـ polygenes) .. قد تكون ذات تأثير متعدد على الشكل المظهرى ، وقد تكون محورة لفعل جينات أخرى modifiers ، أو مثبطة لها suppressors .

ومن أهم خصائص الوراثة الكمية - أيضا - مايعرف بالانعزال الفائق الحدود transgressive segregation حيث يظهر فى الجيل الثانى لبعض التلقيحات أفراد تزيد عن الأب الأعلى ، أو تقل عن الأب الأقل فى الصفة المدروسة . ويحدث ذلك عندما يختلف الأبوان فى الجينات المسئولة عن الصفة ، أو فى بعضها ، مما يؤدى إلى انعزال أفراد فى الجيل الثانى ، تحتوى على أليلات من تلك التى تزيد من الصفة ، تزيد عن تلك الموجودة فى الأب الأعلى أو تتركز فيها الأليلات التى تخفض من الصفة .

تحديد فئات ونسب الانعزالات الوراثية والمظهرية فى الجيل الثانى للصفات الكمية

يتبين من دراستنا لخصائص الوراثة الكمية أن عدة تراكيب وراثية يمكن أن تعطى نفس الشكل المظهرى؛ فعلى سبيل المثال .. لو أن صفة كمية يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية هى : Aa ، و Bb ، و Cc ، وكانت الأليلات السائدة هى التى تزيد من الصفة .. فإن الشكل المظهرى - الذى يكون مرده إلى وجود خمسة أليلات سائدة - يمكن

أن يظهر فى أى من التراكيب الوراثية التالية :

Aa BB CC ، أو AA Bb CC ، أو AABBCc

ونظراً لأن أياً من هذه التراكيب الوراثية يظهر فى الجيل الثانى بنسبة $\frac{٢^{س}}{٤^{ن}}$ (حيث س ، ن هى عدد المواقع الجينية الخليطة فى كل من التركيب الوراثى المراد معرفة نسبته ، وفى الجيل الأول ، على التوالى) = $\frac{٢^{١}}{٤^{٣}}$ = $\frac{٢}{٦٤}$؛ لذا .. فإن نسبة ظهور هذه التراكيب الوراثية مجتمعة = ٣ × $\frac{٢}{٦٤}$ = $\frac{٦}{٦٤}$.

وتوجد طريقتان رئيسيتان لتحديد فئات ونسب الانعزالات الوراثية والمظهرية فى الجيل الثانى للصفات الكمية – التى يتساوى فيها تأثير الجينات المختلفة على الصفة – هما: باستخدام المعادلة ذات الحدين ، وباستخدام مثلث باسكال .

المعادلة ذات الحدين

يمكن معرفة نسب الانعزالات فى الجيل الثانى من مفكوك المعادلة ذات الحدين $(س+ص)^{ن}$: حيث تمثل (س) الآليلات التى تؤثر على الصفة فى أحد الاتجاهات (كأن تزيد من الصفة مثلا) ، وتمثل (ص) الآليلات التى تؤثر على الصفة فى الاتجاه الآخر (كأن تنقص من الصفة مثلاً) ، وتمثل (ن) عدد الآليلات الموجودة (تلك التى تزيد والتى تنقص من الصفة)؛ فمثلا إذا تحكم فى الصفة خمسة أزواج من الجينات (أى عشرة آليلات) .. فإن المعادلة تصبح : $(س + ص)^{١٠}$ ، ويكون مكفوكها كما يأتى :

$س^{١٠}$ + ١٠ $س^{٩}ص$ + ٤٥ $س^{٨}ص^{٢}$ + ١٢٠ $س^{٧}ص^{٣}$ + ٢١٠ $س^{٦}ص^{٤}$ + ٢٥٢ $س^{٥}ص^{٥}$ + ٢١٠ $س^{٤}ص^{٦}$ + ١٢٠ $س^{٣}ص^{٧}$ + ٤٥ $س^{٢}ص^{٨}$ + ١٠ $س ص^{٩}$ + $ص^{١٠}$.

وبذا تكون نسب الانعزالات هى : ١ : ١٠ : ٤٥ : ١٢٠ : ٢١٠ : ٢٥٢ : ٢١٠: ١٢٠ : ٤٥ : ١٠ : ١ .

ويمكن الحصول على المعامل العددى لكل حد من مفكوك المعادلة ذات الحدين بالطريقة التالية :

١– يكـــون المعـــامل العددى لكل من الحدين : الأول والأخير دائما عبارة عن الواحد الصحيح .

٢- يؤخذ أس (س) للحد الأول أى (ن) ، ويمثل هذا المعامل العددى للحد الثانى.

٣- يضرب المعامل العددى للحد الثانى فى أس (س) لهذا الحد ؛ أى (ن -١) ويقسم على ٢ ليعطى المعامل العددى للحد الثالث .

٤- يضرب المعامل العددى للحد الثالث فى أس (س) لهذا الحد ؛ أى (ن-٢) ، ويقسم على ٣ ليعطى المعامل العددى للحد الرابع ... وهكذا . هذا .. ويعنى مفكوك هذه المعادلة أنه يوجد تركيب وراثى واحد ، يحتوى على الآليلات العشرة التى تزيد من الصفة ، وعشرة تراكيب وراثية ، يحتوى كل منها على تسعة آليلات من تلك التى تزيد من الصفة ، وآليل واحد من تلك التى تنقص من الصفة، و٤٥ تركيباً وراثياً، يحتوى كل منها على ثمانية آليلات ، من تلك التى تزيد من الصفة ، وآليلين من تلك التى تنقص من الصفة ... وهكذا. ويكون المجموع الكلى لنسب التراكيب الوراثية هو ١٠٢٤ ، وهو الذى يمكن الحصول عليه - أيضا - من المعادلة $٤^{ن}$ حيث تمثل (ن) عدد أزواج العوامل الوراثية الخليطة فى الجيل الأول ؛ وبذا .. يكون مجموع النسب فى هذا المثال $٤^{٥}$ = ١٠٢٤ .

مثلث باسكال

يمكن الاستعانة بمثلث باسكال Pascal's Triangle المبين أدناه فى تحديد نسب الانعزالات فى الجيل الثانى ؛ حيث يكون كل معامل عددى عبارة عن مجموع المعاملين العددين الموجودين أعلاه على اليمين واليسار كما يلى :

عدد الآليلات	المعاملات العددية للفئات المظهرية
١	١ ١
٢	١ ٢ ١
٣	١ ٣ ٣ ١
٤	١ ٤ ٦ ٤ ١
٥	١ ٥ ١٠ ١٠ ٥ ١
٦	١ ٦ ١٥ ٢٠ ١٥ ٦ ١
٧	١ ٧ ٢١ ٣٥ ٣٥ ٢١ ٧ ١
٨	١ ٨ ٢٨ ٥٦ ٧٠ ٥٦ ٢٨ ٨ ١

ومن الطبيعى أنه لا يستعمل من المعاملات العددية بالمثلث ، إلا ما يقابل العدد الزوجى من الآليلات ، وهو الذى يمثل عدد أزواج العوامل الوراثية التى تتحكم فى الصفة ؛ فلو أن الصفة يتحكم فيها - مثلا - ٣ أزواج من العوامل الوراثية .. نبحث فى المثلث مقابل ٦ آليلات ، لنجد أن نسب المعاملات العددية للفئات المظهرية هى ١ : ٦ :١٥ :٢٠ : ١٥ : ٦ :١.

توزيع الانعزالات المظهرية فى الجيل الثانى

تتأثر طريقة توزيع الانعزالات المظهرية للصفات الكمية - فى الجيل الثانى - بعوامل كثيرة ، نذكر منها مايلى :

١- عدد الجينات التى تتحكم فى الصفة .

٢- كون هذه الجينات ذات سيادة غير تامة ، أم سائدة .

٣- كون الجينات مرتبطة ، أم تتوزع توزيعاً حراً .

٤- كون الجينات متساوية فى تأثيرها فى الصفة ، أم غير متساوية .

٥- وجود علاقة تفوق بين الجينات المتحكمة فى الصفة ، والجينات الأخرى فى النبات، أو عدم وجودها .

٦- كون الجينات المتحكمة فى الصفة تتأثر بجينات أخرى محورة ، أو لا تتأثر .

٧- مدى نفاذية الصفة penetrance ، ودرجة التعبير عنها experssivity فى التراكيب الوراثية المختلفة .

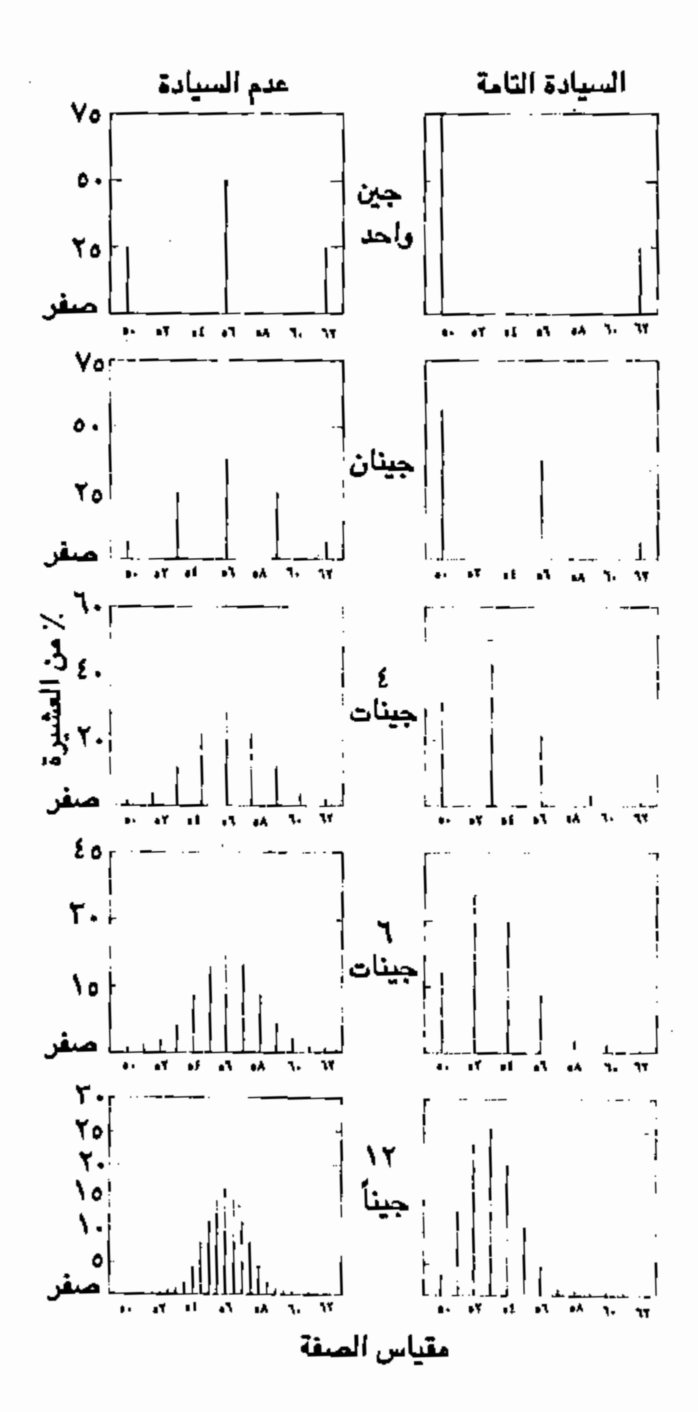
٨- مدى تأثر الصفة بالعوامل البيئية .

وأغلب الظن أن كثيراً من هذه العوامل تتداخل فى التأثير على الصفات الكمية ، بل إن السلوك الوراثى للجينات المتحكمة فى الصفة الواحدة قد يختلف من جين إلى آخر ، وهو مايعد أقصى درجات التعقيد . وتعد أبسط الحالات .. تلك التى تكون فيها الجينات المتحكمة فى الصفة غير مرتبطة ببعضها ، ومتساوية فى تأثيرها، ولا تتفاعل مع الجينات الأخرى فى النبات أو تتأثر بها، وذات نفاذية تامة، وتعبر عن نفسها بوضوح وبدرجة واحدة ، ولاتتأثر بالعوامل البيئية . وإذا توافرت كل هذه الشروط - وهو أمر نادر الحدوث- فإن الانعزالات التى تحدث فى الجيل الثانى تكون مماثلة لتلك التى فى شكل (٤-١) الذى تظهر به التوزيعات فى حالتى غياب السيادة (التوزيعات التى على الجانب

الأيسر من الشكل) ، والسيادة التامة (التوزيعات التى على الجانب الأيمن من الشكل) ، وعندما تكون الصفة بسيطة - أى يتحكم فيها جين واحد - وعندما تكون الصفة كمية ويتحكم فيها ٢ ، أو ٤ ، أو ٦ ، أو ١٢ جيناً (التوزيعات من أعلى إلى أسفل فى الشكل). ويتضح من هذه التوزيعات مايلى :

١- عندما تكون الصفة ذات سيادة غير تامة .. فإن التوزيعات تكون متساوقة ، أى متماثلة ومنتظمة حول الشكل المظهرى ، الذى يأخذ القيمة الوسطية ، والذى يكون توزيعه أعلى التوزيعات ، ويكون كل شكل مظهرى معبراً عن تركيب وراثى ، أو مجموعة من التراكيب الوراثية التى تتساوى فى عدد الأليلات التى تؤثر فى الصفة . ويمكن الحصول على هذه التوزيعات من مفكوك المعادلة ذات الحدين ، أو باستخدام مثلث باسكال . وبينما يمكن تمييز فئات التوزيعات المختلفة فى الصفات البسيطة ، والصفات التى يتحكم فيها جينان أو ثلاثة جينات .. فإن فئات التوزيعات تقترب من بعضها مظهرياً - بشدة - كلما ازداد عدد الجينات المتحكمة فى الصفة بحيث يصعب تمييزها عن بعضها ، كما تأخذ شكل منحنى التوزيع الطبيعى. ويصاحب كل زيادة فى عدد الجينات المتحكمة فى الصفة نقص كبير فى نسبة الأفراد المشابهة للأبوين ، الأمر الذى يستلزم زراعة عدد كبير من نباتات عشيرة الجيل الثانى للحصول على نبات واحد أصيل فى الصفة ومماثل لأحد الأبوين .

٢- عندما تكون الصفة سائدة سيادة تامة .. فإن التوزيعات تكون منحرفة أو مائلة skewed نحو الشكل المظهرى للأليلات السائدة . وبينما تزيد عدد فئات التوزيعات المظهرية مع زيادة عدد الجينات المتحكمة فى الصفة.. فإن عدد الفئات يبقى أقل مما فى حالة غياب السيادة عند نفس العدد من الجينات . ويكون من السهل تمييز الفئات المظهرية عن بعضها فى الصفات التى يتحكم فيها من ١ - ٤ جينات ، إلا أن فئات التوزيعات تتقارب مع بعضها ، ويصبح من الصعب تمييزها بعد ذلك . وكلما ازداد عدد الجينات المتحكمة فى الصفة .. بدا التوزيع أقرب إلى التوزيع الطبيعى؛ أى كلما قل وضوح الجنوح ظاهريا ؛ ذلك لأن نسب الفئات التى تتجمع فيها الأليلات المتنحية تنخفض بشدة ؛ بحيث لاتمثل شيئاً يذكر إلى جانب بقية العشيرة التى تبدو طبيعية إلى حد ما فى توزيعها برغم أنها تكون منحرفة - بشدة - نحو الصفة السائدة . ويلاحظ - أيضا - أن الفئات المظهرية المنعزلة لاتمثل تراكيب وراثية متشابهة ؛ بسبب وجود السيادة .



شكل (٤ –١) : التوزيعات المتوقعة في الجيل الثاني لصفة يتحكم فيها (من أعلي لأسفل في الشكل) ١ ، و ٢ ، و ٤ ، و ٦ ، و ١٢ جيناً فى حالتى السيادة التامة (العمود الأيمن) ، وغياب السيادة (العمود الأيسر) علماً بأن درجة توريث الصفة ١٠٠٪ (عن Allard ١٩٦٤) .

ويبين جدول (٤-٢ ، نقلا عن Simmonds ١٩٧٩) كيف أن زيادة عدد الجينات المتحكمة فى الصفة الكمية - عند غياب السيادة - يجعل توزيع فئات الأشكال المظهرية يقترب من التوزيع الطبيعى . أما شكل (٤-٢ ، نقلاً عن Falconer ١٩٨١) فإنه يبين كيف أن التوزيع فى حالة السيادة التامة يبدو أقل جنوحاً كلما ازداد عدد الجينات المتحكمة فى الصفة . ويوضح الشكل التوزيع المتوقع من الانعزال الحر لأزواج الأليلات ، عندما يتحكم فى الصفة ٦ جينات (شكل أ) ، أو ٢٤ جيناً (شكل ب) علما بأن السيادة تامة لأحد الأليلات على الأليل الآخر فى كل موقع جينى ، ونسبة جميع الأليلات ٥ر٠ ، ويؤدى كل موقع جينى متنح أصيل إلى خفض قيمة الصفة بمقدار وحدة كاملة فى الشكل (أ) وربع وحدة فى الشكل (ب) ، كما يظهر على المحور الأفقى الذى تتوزع عليه فئات التراكيب الوراثية ، التى تختلف فى عدد المواقع الجينية المتنحية الأصيلة . أما المحور الرأسى .. فيمثل النسبة المئوية المتوقعة لكل فئة مظهرية ، وقد حسبت من مفكوك المعادلة ذات الحدين $(\frac{١}{٤} + \frac{٣}{٤})^{ن}$ حيث تمثل (ن) عدد المواقع الجينية .

تعد صفة وزن الثمرة فى الطماطم مثالاً جيداً للصفات الكمية التى يسود فيها أحد أليلى كل جين على الآخر ، ويبين شكل (٤ - ٣) توزيعاً حقيقياً لمتوسط وزن الثمرة بالجرام، حُصِلَ عليه فى الجيل الثانى للتلقيح ، بين سلالة الطماطم رقم (٩٠٢) ذات الثمار الكبيرة نسبياً ، والسلالة البرية Red Current ذات الثمار الصغيرة جداً. ويظهر من الشكل سيادة صفة الثمار الصغيرة ، واقتراب متوسط وزن الثمرة فى الجيلين الأول والثانى من المتوسط الهندسى المحسوب ، وابتعادهما كثيراً عن المتوسط الحسابى ، وهو مايدل على أن الجينات ذات تأثير متجمع ، وأن تأثير إضافة أى جين هو زيادة وزن الثمرة بنسبة معينة ، وقد يمكن تفسير الجنوح المشاهد فى التوزيع - فى هذا المثال - على أساس سيادة الجينات التى تتحكم فى وزن الثمرة الصغيرة .

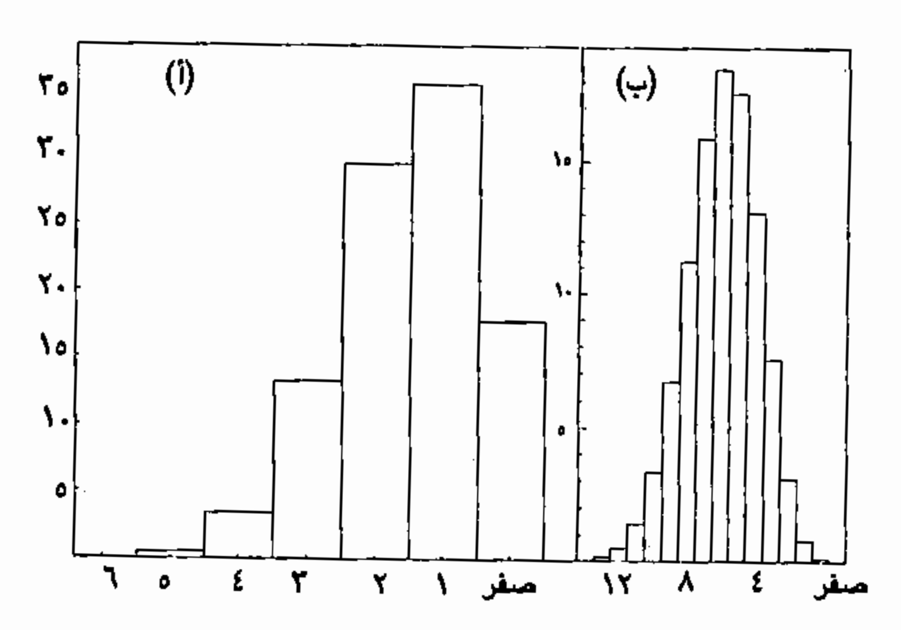
تقدير عدد الجينات المتحكمة فى الصفات الكمية

تستخدم بعض المعادلات فى تقدير عدد الجينات التى تتحكم فى الصفات الكمية ، نذكر منها مايلى :

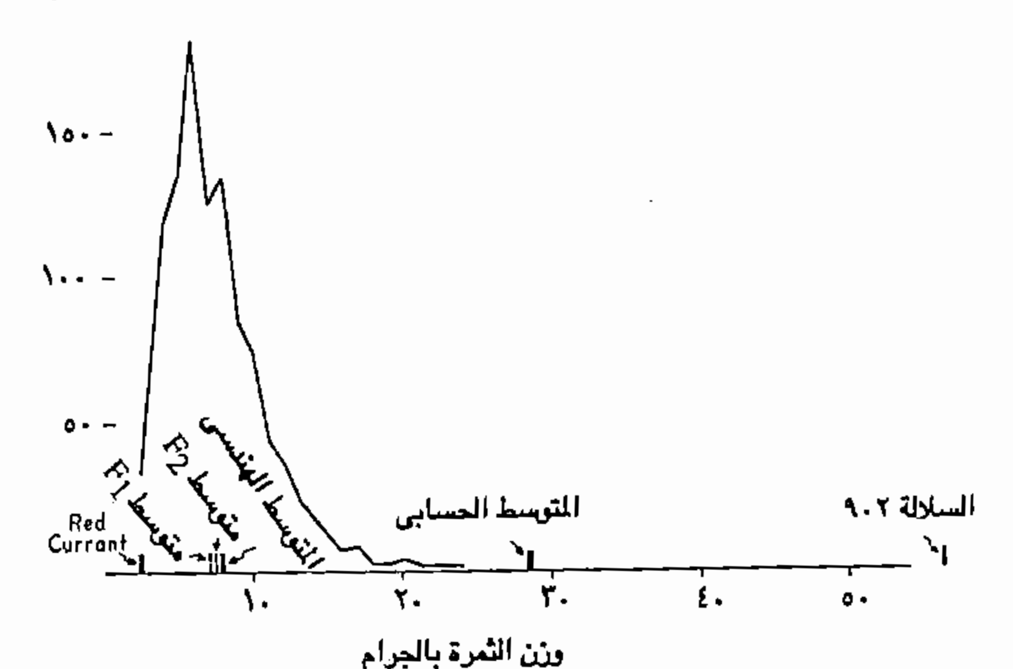
$$N = \frac{D^2}{8(VF_2 - VF_1)} \qquad **$$

جدول (٤ – ٢) : التوزيع المتوقع لصفات يتحكم فيها من ١ – ٦ جينات ذات تأثير إضافي . توجد في أسفل الجدول مقارنة بين التوزيع الطبيعي، وتوزيع صفة يتحكم فيها ستة جينات .

عدد العوامل الوراثية (ن)	$2^{ن}$	الصفة المنخفضة										التوزيع التكراري لمختلف الفئات المظهرية الصفة المتوسطة										الصفة العالية
1	2	1										2										1
2	4	1					4					6					4					1
3	8	1				6		15				20				15		6				1
4	16	1			8		28		56			70			56		28		8			1
5	32	1		10		45		120		210		252		210		120		45		10		1
6	64	1	12		66		220		495		792	924	792		495		220		66		12	1
٪ – ن = ٦		0	0·2		1·7		5·4		12·2		19·3	22·4	19·3		12·2		5·4		1·7		0·2	0
التوزيع الطبيعي		0	0·3		1·6		5·2		11·8		19·5	22·9	19·5		11·8		5·2		1·6		0·3	0



شكل (٤ - ٢) : التوزيع المتوقع لصفة سائدة يتحكم فيها ٦ جينات (علي اليسار) ، أو ٢٤ جيناً (على اليمين).راجع المتن للتفاصيل (عن Falconer ١٩٨١) .



شكل (٤ - ٣) : توزيع صفة وزن ثمرة الطماطم في الجيل الثاني للتقليح بين سلالة من الـ Red Current وسلالة الطماطم رقم ٩٠٢ .
راجــع المتــن للتفاصــيل (عن Briggs & knowles ١٩٦٧) .

حيث تمثل N الحد الأدنى لعدد الجينات المتحكمة فى الصفة وتمثل D الفرق بين متوسطى الأبوين، وVF_1 , VF_2 تباينى الجيلين الأول و الثانى على التوالى (Castle & Wright ١٩٢١) . وتفترض هذه المعادلة مايلى :

١- عدم وجود أى ارتباط أو تفاعل بين الجينات المتحكمة فى الصفة .

٢- لكل الجينات درجة واحدة من الأهمية فى التأثير فى الصفة .

٣- لكل الجينات درجة سيادة واحدة .

٤- يكون أحد الأبوين - فقط - هو مصدر جمع الآليلات المؤثرة فى الصفة فى أحد الاتجاهات .

$$N = \frac{D^2}{8VA} \quad **$$

حيث يمثل VA التباين الإضافى الذى يحسب - بدوره- بالمعادلة التالية :

$$\frac{1}{2} VA = 2\ VF_2 - (VB_1 + VB_2)$$

حيث يمثل VF_2 ، و VB_1 ، و VB_2 تباينات الجيل الثانى ، وعشائر التلقيحات الرجعية للأبوين الأول والثانى على التوالى (Mather & Jinks ١٩٧١) .

التقدير الكمى لتأثير الجين على الفرد

تأثير الجينات فى العشائر

يعتبر متوسط العشيرة population mean من أهم القيم الإحصائية التى تستخدم فى الوصف الكمى للعشيرة ، وهو يمثل متوسط التراكيب الوراثية التى تتكون منها العشيرة ، ونوجز - فيما يلى - كيفية التوصل إلى المعادلة التى تستخدم فى حساب متوسط العشيرة (عن Falconer ١٩٨١) :

نفترض أن صفة ما يتحكم فيها جين واحد ، له آليلان ، هما A_1 ، وA_2 . ونفترض - أيضاً - أن القيمة الوراثية genotypic value للتركيب الوراثى الأصيل A_1A_1 هى (+a) ، و للتركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 هى (-a) ، وللتركيب الوراثى الخليط

$A_1 A_2$ هى (d) ؛ فإذا كان الآليل A_1 هو الذى يزيد من الصفة و كانت النقطة (0) تمثل القيمة الوسيطة بين التركيبين الوراثيين الأصيلين ، كما هو مبين فى الشكل التالى :

التركيب الوراثى	A_1A_1	A_1A_2		A_2A_2
القيمة الوراثية	+a	d	o	- a

فإن قيمة التركيب الوراثى الخليط (أى d) تعتمد على درجة السيادة ؛ ففى غياب السيادة تماماً .. تكون (d) مساوية للصفر ، بينما تكون (d) موجبة إذا كان الآليل A_1 سائداً على A_2 وتكون سالبة إذا كان الآليل A_2 سائداً على A_1 .

وعندما تكون السيادة تامة تكون (d) مساوية لـ (+a) أو لـ (-a) ، بينما تكون قيمة d أكبر من (+a) ، أو أقل من (-a) فى حالة السيادة الفائقة over dominance .

ويعبر عن درجة السيادة بالقيمة : $\frac{d}{a}$.

هذا .. إلا أن القيمة الوراثية للتراكيب الوراثية الموجودة فى العشيرة لا تتأثر بالتراكيب الوراثية فقط ، وإنما بنسبها إلى بعضها البعض أيضاً ، ويطلق على القيمة التى تنتج من ذلك اسم متوسط العشيرة ، وهى التى تحسب كالآتى :

التركيب الوراثي	النسبة	القيمة	النسبة × القيمة
A_1A_1	p^2	+a	p^2a
A_1A_2	2pq	d	2pqd
A_2A_2	q^2	-a	$-q^2a$

المجمـــــوع : $M = a\,(p-q) + 2\,dpq$

علماً بأن p^2 ، و $2pq$ ، و q^2 هى نسب التراكيب الوراثية . و M هو متوسط العشيرة .
وتتغير قيمة M فى الحالات المختلفة كما يلى :

١- فى حالة غياب السيادة تكون (d) مساوية للصفر ، وتصبح المعادلة كما يلى :

$M = a\,(1-2\,q)$

٢- فى حالة السيادة التامة تكون (d) مساوية لـ (a) ، وتصبح المعادلة كما يلى :

$$M = a\ (1-2q^2)$$

٣- فى حالة تأثر الصفة بعديد من العوامل الوراثية - كما فى الحال فى الصفات الكمية - تصبح المعادلة كما يلى :

$$M = \Sigma \quad a\,(p - q) + 2 \quad \Sigma \quad dpq$$

ولكى يتسنى فهم العوامل المؤثرة على متوسط العشيرة .. فإنه تلزم دراسة متوسط تأثير كل جين على حدة averege effect of single genes ، وهو الذى يمثل بمتوسط انحراف قيمة الأفراد التى تحتوى على هذا الجين عن متوسط العشيرة . فلو أن هذا الجين يوجد منه أليلان هما A_1 ، و A_2 بنسبة p ، و q على التوالى .. فإنه يمكن تقدير متوسط تأثير الآليل A_1 (أو α_1) ، والآليل A_2 (أو α_2) كما يلى :

قيم ونسب التراكيب الوراثية المتكونة

الجاميطات	A_1A_1 a	A_1A_2 d	A_2A_2 -a	متوسط قيم التراكيب الوراثية المتكونة	متوسط العشيرة	متوسط تأثير الجين
A_1	p	q		pa + qd	- [a (p-q) + 2dpq]	q [a+d (p-q)]
A_2		p	q	-qa + pd	- [a (p-q) + 2dpq]	- p [a+d (q-p)]

وبفرض أن الجاميطات التى تحمل الآليل A_1 تتحد عشوائياً مع الجاميطات الأخرى فى العشيرة .. فإن نسبة التراكيب الوراثية المنتجة تكون P من A_1A_1 ، و q من A_1A_2 ، وتكون القيمة الوراثية للتركيب A_1A_1 هى (+a) ، وللتركيب A_1A_2 هى (d) ، ويكون المتوسط هو pa+qd ، ويكون الفرق بين هذه القيمة ومتوسط العشيرة هو متوسط تأثير الآليل A_1 . وبحساب قيمة متوسط العشيرة من المعادلة الخاصة بها .. نجد أن :

$$\alpha_1 = pa + qd - [\ a\ (p-q) + 2\ dpq]$$

$$= q\ [a + d\ (p-q)]$$

$$\alpha_2 = -\ p\ [\ a + d\ (p-q)]$$

ويكون متوسط تأثير الجين (أو α) كما يلى :

$$\alpha = a + d\ (p - q)$$

وتكون العلاقة بين α ، و α_1 ، و α_2 كما يلى :

$$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$$

$$\alpha_1 = q\,\alpha$$

$$\alpha_2 = -p\,\alpha$$

وتحسب لكل تركيب وراثى ما تعرف بقيمة التربية breeding value كما يلى :

التركيب الوراثى	قيمة التربية
A_1A_1	$2\alpha_1 = 2q\,\alpha$
A_1A_2	$\alpha_1 + \alpha_2 = (p-q)\,\alpha$
A_2A_2	$2\alpha_2 = -2p\alpha$

وتحسب قيمة التربية فى حالة وجود أكثر من أليلين على أساس أنها تمثل مجموع تأثير أى أليلين يوجدان فى التركيب الوراثى للفرد ، وهى تمثل جزءاً من القيمة الوراثية للفرد ، وهو الذى يحدد متوسط قيمة النسل أو سلوكه .ويعرف الفرق بين القيمة الوراثية ، وقيمة التربية بالانحراف الذى يرجع إلى السيادة dominance deviation ؛ إذ إن :

$$G = A + D$$

حيث تمثل "G" القيمة الوراثية ، و "A" قيمة التربية ، و "D" الانحراف العائد إلى السيادة . وتحسب القيمة الوراثية لجميع الجينات معاً كما يلى :

$$G = A + D + I$$

حيث تمثل : (A) مجموع قيم التربية للجينات المختلفة ، و (D) مجموع الانحرافات العائدة إلى السيادة ، و (I) مجموع الانحرافات العائدة إلى التفاعل بين الجينات غير الأليلية epistatic deviation . ويقال عند غياب (D) ، و (I) أن الجينات ذات تأثر إضافى؛ إذ يعنى الفعل الإضافى للجين additive gene action إما غياب السيادة بالنسبة للأليلات فى الموقع الجينى الواحد (الجينات الأليلية) ، وإما غياب التفوق بالنسبة للجينات غير الأليلية .

ويمكن بيان العلاقة بين القيم التى سبقت دراستها كما يلى :

	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
التركيب الوراثى :	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2
النسبة :	p^2	$2pq$	q^2
القيمة الخاصة بالتركيب الوراثى :	a	d	$-a$

الانحراف عن متوسط العشيرة

القيمة الوراثية :	$2q(a - pd)$	$a(q-p) + d(1-2pq)$	$-2p(a + qd)$
	$2q(\alpha - qd)$	$(q-p)\alpha + 2pqd$	$-2p(\alpha + pd)$
قيمة التربية :	$2q\alpha$	$(p-q)\alpha$	$-2p\alpha$
الانحراف العائد إلي السيادة :	$-2q^2d$	$2pqd$	$-2p^2d$

هذا .. مع العلم بأن القيمة الوراثية قد عبر عنها بقيمة (a) ، أو بقيمة (α) ، وعبر عن الانحراف العائد إلى السيادة فى صورة (d) ، علماً بأن (d) = صفراً فى غياب السيادة ؛ حيث تتساوى القيمة الوراثية مع قيمة التربية .

درجة السيادة

تعتبر درجة السيادة degree of dominance (أو potence ratio) مقياساً لمتوسط سيادة كل الجينات المتحكمة فى الصفة فى أحد الآباء على الجينات التى توجد فى الأب الآخر ، وتحسب درجة السيادة بمقارنة المتوسطات المشاهدة لعشائر كل من الجيلين الأول (F_1) ، والثانى ($\bar{F}_2$) ، والتلقيحات الراجعة إلى الأب الأول ($\bar{B}_1$) والثانى ($\bar{B}_2$) بالقيم المحسوبة التالية (عن Powers وأخرين ١٩٥٠) .

المتوسط المشاهد الذى تنسب إليه درجة السيادة	القيمة المحسوبة التى يقارن بها المتوسط المشاهد
$\bar{F}_1$	$\bar{P}_1 + \bar{P}_2 / 2$
$\bar{F}_2$	$\bar{P}_1 + 2\bar{F}_1 + \bar{P}_2 / 4$
$\bar{B}_1$	$\bar{P}_1 + \bar{F}_1 / 2$
$\bar{B}_2$	$\bar{P}_2 + \bar{F}_1 / 2$

ويلى ذلك تقدير جوهرية الاختلافات بين المتوسطات الحسابية للعشائر (القيم المشاهدة) بالقيم التي تقارن بها (القيم المحسوبة) ؛ با ختبار "t" على النحو التالى :

$$t = \frac{\text{المتوسط المشاهد} - \text{المتوسط المحسوب}}{\text{الانحراف القياسى للمتوسط المشاهد}}$$

فإن لم يوجد فرق معنوى بين المتوسط المشاهد والمتوسط المحسوب .. كان ذلك دليلاً على غياب السيادة ، أما إذا وجد فرق معنوى بين المتوسطين .. فإن الحالة قد تكون واحدة من ثلاث كما يلى :

١- سيادة جزئية إذا كان المتوسط المشاهد للعشيرة بين متوسطها المحسوب ، والمتوسط المشاهد لأحد الآباء .

٢- سيادة تامة عندما لايختلف المتوسط المشاهد للجيل الأول - جوهرياً - عن المتوسط المشاهد لأحد الآباء .

٣- سيادة فائقة Overdominance عندما يزيد المتوسط المشاهد للجيل الأول على الأب الأعلى فى الصفة أو يقل عن الأب الأقل .

ويعطى Mather (١٩٤٩) معادلة أخرى لحساب درجة السيادة كما يلى :

$$\text{درجة السيادة} = \frac{\text{المتوسط المشاهد للجيل الأول} - \text{المتوسط المحسوب للجيل الأول}}{\frac{1}{2}(\text{متوسط الأب ذى القيمة المرتفعة} - \text{متوسط الأب ذى القيمة المنخفضة})}$$

فإن زادت قيمة درجة السيادة على (+١) أو نقصت عن (-١) كان ذلك دليلاً على وجود سيادة فائقة . وإن كانت (+١) ، أو (-١) .. كان ذلك دليلاً على وجود سيادة تامة وإن كانت (صفر) .. كان ذلك دليلاً على غياب السيادة ، وإن تراوحت بين أكثر من (-١) وأقل من (+١) - فيما عدا قيمة الصفر - كان ذلك دليلاً على وجود سيادة جزئية .

تقدير درجة الجنوح skewenss عن التوزيع الطبيعى

يعتبر الجنوح عن التوزيع الطبيعى فى عشائر الجيل الثانى دليلاً على الانحراف عن

التأثير الاضافى للجينات المتحكمة فى الصفات الكمية ، وتقدر درجة الجنوح على النحو التالى :

$$\text{درجة الجنوح} = \frac{\text{٣ (المتوسط المشاهد للجيل الثانى – القيمة الوسطى median)}}{\text{الانحراف القياسى للجيل الثانى}}$$

يستعمل اختيار "t" لتحديد مدى جوهرية الجنوح المحسوبة ، مع حساب قيمة "t" على النحو التالى (عن Snedecor ١٩٥٦) :

$$t = \frac{\text{درجة الجنوح}}{\sqrt{\text{٦ن (ن – ١) / (ن – ٢) (ن + ١) (ن + ٣)}}}$$

حيث تمثل (ن) عدد أفراد الجيل الثانى . وتدل قيمة الجنوح الموجبة على زيادة عدد الأفراد ذوى القيم الأقل من المتوسط ، بينما تدل القيمة السالبة على زيادة عدد الأفراد ذوى القيم الأعلى من المتوسط .

المتوسطات الهندسية

يظهر التأثير الهندسى geometric action للجينات فى بعض الصفات كصفة حجم الثمار مثلاً ؛ حيث تتفاعل الجينات مع بعضها بطريقة ليست اضافية additive ، وإنما تضاعفية multiplicative ، وهو ما يتمشى مع طبيعة الصفة ؛ حيث يكون الحجم حاصل ضرب أرقام ، وليس بحاصل جمع أبعاد ، ويقال إن الجينات ذات تاثير هندسى geometric gene action عندما تكون المتوسطات الهندسية المحسوبة بمختلف المشائر الهندسية أقرب إلى القيم الملاحظة لهذه العشائر ، بينما يقال إن الجينات ذات تأثر حسابى arithmatic gene action عندما تكون متوسطاتها الحسابية أقرب إلى قيمتها الملاحظة . وتحسب المتوسطات الهندسية على النحو التالى (عن Powers & Lyon ١٩٤١) .

$$\text{المتوسط الهندسى المتوقع للجيل الأول} = \sqrt{\text{المتوسط المشاهد للأب الأول × المتوسط المشاهد للأب الثانى}}$$

المتوسط الهندسى المتوقع للجيل الثانى = العدد المقابل (antilogarithm) لـ :

$$\frac{\text{لوغاريتم المتوسط المشاهد للأب الأول + ٢ لوغاريتم المتوسط المشاهد للجيل الأول + لوغاريتم المتوسط المشاهد للأب الثانى}}{٤}$$

- المتوسط الهندسى المتوقع للتلقيح الرجعى للأب الأول =

$$\sqrt{\text{المتوسط المشاهد للجيل الأول × المتوسط المشاهد للأب الأول}}$$

المتوسط الهندسى المتوقع للتلقيح الرجعى للأب الثانى =

$$\sqrt{\text{المتوسط المشاهد للجيل الأول × المتوسط المشاهد للأب الثانى}}$$

ويمكن تصور التأثيرين الإضافى والهندسى للجينات بمثال تزيد فيه قيمة الصفة بزيادة عدد الجينات التى تتحكم فيها على النحو التالى :

١- فى حالة التأثير الإضافى : قد تكون قيمة الصفة : ٣ ، و٦ ، و٩ ، و١٢ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ٣ وحدات ؛ أو ١ ، و١,١ ، و١,٢ ، و١,٣ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ١,٠ وحدة .

٢- فى حالة التأثير الهندسى : قد تكون قيمة الصفة ٣ ، و٩ ، و٢٧ ، و٨١ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ثلاثة أضعاف القيمة السابقة ؛ أو ١ ، و١,١ ، و١,٢١ ، و١,٣٣١ ، و١,٤٦٤١ ؛ حيث يزيد كل جين إضافى قيمة الصفة بمقدار ١,١ ضعف القيمة السابقة ، أى يضيف حوالى ١٠٪ إلى القيمة السابقة .

ويلاحظ أن توزيع الأفراد فى الأجيال الانعزالية يكون دائماً مجنحاً skewed عندما تكون الجينات ذات فعل هندسى ، وللتأكد من صحة فرضية التأثير الهندسى للجينات .. يجب ألا تختلف القيم المشاهدة لعشائر الجيلين الأول والثانى ، وكذلك التلقيحات الرجعية – معنوياً – عن القيم المحسوبة على أساس التأثير الهندسى . ويؤدى تحويل القيم المشاهدة للأفراد فى حالة الصفات التى تؤثر عليها الجينات بطريقة هندسية إلى لوغاريتمات ، إلى أن يصبح توزيع الأفراد قريباً من التوزيع الطبيعى .

وبينما لايوجد أى ارتباط بين متوسطات أو تباينات الآباء والجيلين الأول والثاني وعشائر التلقيحات الرجعية فى حالة التأثير الإضافى للجينات .. نجد أن هذه القيم تكون مرتبطة ببعضها ، عندما تكون الجينات ذات تأثير هندسى ؛ ويصاحب زيادة المتوسطات زيادة التباينات فى حالة التأثير الهندسى ، بينما لايشترط ذلك فى حالة التأثير الإضافى ؛ حيث قد تصاحب زيادة المتوسطات زيادة أو نقص فى التباينات (Brewbaker ١٩٦٤) .

مكونات التباين فى الصفات الكمية

يصعب فى الصفات الكمية تتبع كل جين على حدة فى الأجيال الانعزالية ، كما يصعب تقسيم النباتات إلى أقسام محددة حسب النسب المندلية المعروفة كما فى الصفات البسيطة أو التى يتحكم فيها عدد قليل من الجينات. ويسعى المربى – بدلاً من ذلك – إلى تقدير التباين Variance – وهو قيمة إحصائية – للدلالة على مدى الاختلافات المشاهدة فى الصفة فى العشائر التى يقوم بدراستها .

يعرف التباين الكلى المشاهد باسم تباين الشكل المظهرى Phenotypic Variance ، ويرمز له بالرمز (V_{Ph}) ؛ ونظرا لأن الاختلافات التى تشاهد فى الشكل المظهرى ترجع إلى تأثير كل من التركيب الوراثى ، والعوامل البيئية على كل فرد من أفراد العشيرة ؛ لذا .. فإن :

$$V_{Ph} = V_G + V_E$$

حيث يمثل (V_G) التباين الذى يرجع إلى تأثير التركيب الوراثى أو التباين الوراثى Genotypic Variance ، بينما يمثل (V_E) التباين الذى يرجع إلى تأثير البيئة أو التباين البيئى Environmental Variance .

التباين البيئى

يقدر التباين البيئى لأية صفة ؛ بحساب مدى التباين فى هذه الصفة فى عشيرة يحمل جميع أفرادها نفس التركيب الوراثى؛ كأن تكون جميعها – مثلاً – سائدة أصيلة ، أو متنحية أصيلة ، أو خليطة فى الصفة ويحسب التباين البيئى بالمعادلة التالية :

$$V_E = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}$$

حيث تمثل (X) القيمة المشاهدة للصفة لكل فرد من أفراد العشيرة و (n) عدد أفراد العشيرة ، بينما ترمز (Σ) لكلمة مجموع .

تجدر الإشارة إلى أن التباين البيئى لصفة ما لايكون ثابتاً دائماً ، وإنما يتغير بتغير التركيب الوراثى لأفراد العشيرة فى الصفة المدروسة ، وبتغيير الخلفية الوراثية لأفراد العشيرة ، فهو يكون أكبر – عادة – فى السلالات الأصيلة (مثل السلالات النقية ، أو السلالات المرباة تربية داخلية) عما فى الأصناف العادية (الصادقة التربية ، أو المفتوحة التلقيح) ، ويقل فى الأصناف الهجين عامة عما فى الأصناف العادية . وبرغم أن تقدير التباين البيئى يختلف بين العشائر غير المتجانسة .. إلا أنه يكون أقل فيها مما فى العشائر الأكثر تجانسا ، باستثناء الأصناف الهجين . وبالإضافة إلى ما تقدم .. فإن التباين البيئى يختلف بين السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة نظراً لاختلاف مدى تأثر التراكيب الوراثية السائدة الأصيلة والمتنحية الأصيلة بالصفة(أى يحدث تفاعل بين البيئة والتركيب الوراثى فى التأثير على الصفة) . ولذا .. فإن أفضل تقدير للتباين البيئى يكون هو متوسط التباين البيئى للآباء والجيل الأول (وهى العشائر المتجانسة) كما يلى :

$$V_E = \frac{VP_1 + VP_2 + V_{F1}}{3}$$

حيث تمثل V_{P1} ، و V_{P2} ، و V_{F1} تباينات أحد الآباء ، والأب الثانى ، والجيل الأول الهجين بينهما على التوالى .

ويفضل – أحيانا – حساب التباين البيئى بالمعادلة التالية :

$$V_E = \sqrt[3]{VP_1 \cdot VP_2 \cdot V_{F_1}}$$

أى على أساس الجذر التكعيبى لحاصل ضرب تباين الأب الأول مع تباين الأب الثانى مع تباين الجيل الأول بينهما .

التباين الوراثى

أشرنا – سابقاً – إلى أن التباين الوراثى (V_G) يعكس القدر الذى يشارك به التركيب الوراثى فى التباين الكلى للصفة ، ويمكن تقسيم التباين الوراثى– بدوره – إلى مكونات أصغر ، يسهم كل منها بنصيب فى التباين الكلى للصفة وهى كما يلى :

١– تباين التأثير الإضافى للجين أو التباين الإضافى Additve Variance (أو V_A) وهو مقياس لقيمة التربية Breeding Value ، ويرجع إلى اختلاف التراكيب الوراثية الأصيلة فى التأثير على الصفة ، وهو يعد أهم مكونات التباين الوراثى لأنه الوحيد الذى يمكن الاعتماد عليه عند الانتخاب .

٢– تباين تأثير السيادة أو تباين السيادة Dominance Variance (أو V_D) وهو مقياس للانحراف الذى يعود إلى السيادة dominamce deviation ؛ نتيجة للتفاعل بين الجينات الأليلية .

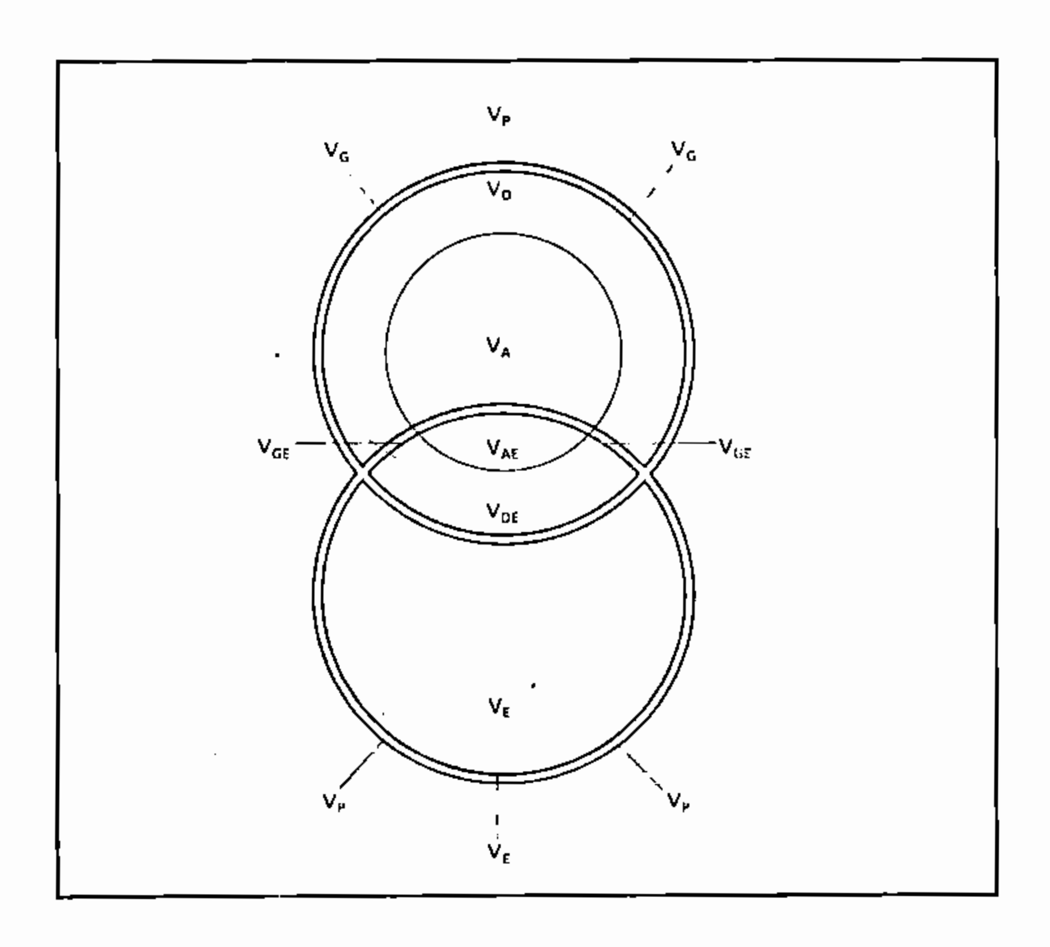
٣– تباين التفاعل Interaction Variance (أو V_I) ، وهو مقياس للانحراف الذى يعود إلى التفاعل interaction deviation بين الجينات غير الأليلية ؛ أى إلى حالات التفوق epistasis .

وبذا .. فإنه يمكن إعادة صياغة معادلة التباين الكلى لتصبح كما يلى :

$$V_{Ph} = V_A + V_G + V_I + V_E$$

ويبين شكل (٤ – ٤) معظم مكونات التباين التى سبقت الإشارة إليها . ويمكن الاستفادة من الشكل فى تفهم العلاقة فيما بينها ، خاصة فيما يتعلق بتباينات لم تسبق الإشارة إليها ، وهى تباين التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة Genotype - Environment Interaction Variance (أو V_{GE}) ، و الذى قسم –بدوره– إلى تباين التفاعل بين التأثير الإضافى والبيئة (V_{AE}) ، وتباين التفاعل بين تأثير السيادة والبيئة (V_{DE}) . ويمكن بإجراء التجارب المناسبة تقدير مكونات مختلفة لتباين مواقع إجراء الدراسة Sites ، ومواسم إجرائها seasons كجزء من التباين البيئى ، وكذلك تحديد تباين التفاعلات بين مكونات البيئة وبعضها (V_{EE}) ، وبين تأثير التفاعل والبيئة (V_{IE}) وتباينات التفاعلات بين مختلف مكونات التباين الوراثى ؛

مثل (V_{AA}) ، و(V_{AD}) ، و(V_{DD}) وهى التى تشكل فى مجموعها تباين التفاعل (V_I) وتمثل – على التوالى – تباين التفاعل بين قيمتين من قيم التوبية ، وتباين التفاعل بين قيمة التربية لأحد المواقع الجينية مع الانحراف العائد إلى السيادة فى موقع جينى آخر ، وتباين التفاعل بين اثنين من الانحرافات العائدة إلى السيادة . وإذا كان التفاعل بين أليلات أكثر من موقعين جينيين .. فإنه يكون شديد التعقيد .



شكل (٤ –٤) : تخطيط للعلاقة بين الأنواع المختلفة من التباينات التي يتكون منها تباين الشكل المظهرى . راجع المتن للتفاصيل (عن Simmonds ١٩٧٩) .

ونظراً لأن حساب مختلف التفاعلات يكون أمراً معقداً ؛ لذا .. فإنها تهمل – عادة – حيث يحسب تباين التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئى ضمن التباين البيئى ، كما يقسم

التباين الوراثى إلى مكوناته الثلاثة الرئيسية (V_A) ، و (V_D) ، و (V_I) دونما تفصيل لتباين التفاعل ، أو قد يقسم إلى مكونين فقط ، هما (V_A) وبقية مكونات التباين الوراثى معاً ؛ ذلك لأن فاعلية عملية الانتخاب فى برامج التربية تتحدد - أساساً - بتباين التأثير الإضافى للجين .

طرق تقدير مكونات التباين فى الصفات الكمية

سبقت الإشارة إلى طريقة تقدير التباين البيئى عند مناقشة هذا الموضوع ، أما التباين الوراثى ومكوناته المختلفة ، وكذلك مختلف تباينات التفاعل .. فإنها تقدر بطرق شتى ، وتعتمد هذه الطرق على عدد من الافتراضات البيولوجية ، أكثرها شيوعاً مايلى (عن Sprague ١٩٦٦) :

١- أن تكون النباتات المقيمة عينة عشوائية ممثلة لكل التراكيب الوراثية الممكنة فى العشيرة التى أخذت منها .

٢- أن تكون النباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية ، وتسلك مسلكاً طبيعياً أثناء الانقسام الاختزالى .

٣- ألاّ يوجد تأثير سيتوبلازمى على الصفة .

٤- ألاّ توجد أليلات متعددة للجين .

٥- ألاّ يوجد ارتباط بين الجينات . .

٦- أن تتساوى جميع التراكيب الوراثية فى قدرتها على التكاثر فلا يوجد انتخاب لصالح أى منها .

٧- ألا يوجد تفوق ، أى لايوجد تفاعل بين الجينات غير الأليلية .

التقدير على أساس نسب الأليلات وقيمتها الوراثية

تحسب مكونات التباين الوراثى لموقع جينى واحد بالمعادلات التالية (عن Falconer ١٩٨١) :

$$V_A = 2pq\,\alpha^2$$
$$= 2pq\,[a + d(q-p)]^2$$
$$V_D = (2pqd)^2$$
$$V_G = V_A + V_D$$
$$= 2pq\,[a + d(q-p)]^2 + (2pqd)^2$$

وتقدر قيمتا (V_A) ، و (V_D) للصفات الكمية التى يتحكم فيها أكثر من جين من مجموع قيم الـ (V_A) ، و الـ (V_G) لكل جين على التوالى ، ويهمل – عادة – تباين التفاعل بين هذه الجينات ؛ لأن حسابه معقد ، بينما يكون قليل الأهمية .

التقدير على أساس تحليل التباين لعدد من العائلات الوراثية

تعتمد هذه الطريقة – فى تقدير مكونات التباين – على تقييم عدد من العائلات الوراثية (بالنسبة للصفة المراد دراستها) فى عدة مناطق ، وعلى مدى عدة سنوات ، ويمكن أن تكون هذه العائلات من الجيل الثالث ، أو الرابع ، لتلقيح أو أكثر. ويكون متوسط المربعات المتوقع expected mean squares لمصادر التباين المختلفة كما يلى (عن Allard ١٩٦٤) .

مصدر التباين	درجات الحرية	متوسط المربعات المتوقع
العائلات	(f-1)	$V_e + rV_{aly} + ry\, V_{al} + rl\, V_{ay} + rly\, V_a$
العائلات × السنوات	(f- 1) (y-1)	$V_e + r\, V_{aly} + rl\, V_{ay}$
العائلات × المواقع	(f-1) (l-1)	$V_e + r\, V_{aly} + ry\, V_{al}$
العائلات×السنوات×المواقع	(f-1) (y-1) (l-1)	$V_e + r\, V_{aly}$
الخطأ التجريبى	(r-1) (fly - 1)	V_e

علما بأن f تمثل عدد العائلات ، و r : عدد المكررات ، و l : عدد المواقع ، و y : عدد سنوات التقييم، و V_e : تباين الخطأ التجريبى ، و V_a : التباين الناشئ عن الاختلافات بين العائلات ، و V_{al} التباين الناشئ عن التفاعل بين العائلات والمواقع ، ويعد مقياساً لما إذا كانت العائلات متجانسة فى سلوكها فى المواقع المختلفة ، أم غير متجانسة ، و V_{ay} التباين الناتج من التفاعل بين العائلات وسنوات الدراسة ، و V_{aly} التباين الناتج من التفاعل بين العائلات والمواقع والسنوات .

التقدير على أساس تباينات الآباء والجيلين الأول والثانى والتلقيحات الرجعية

يمكن تقدير مكونات التباين الوراثى بزراعة عشائر الآباء والجيلين الأول والثانى والتلقيحات الرجعية – معاً – فى وقت واحد ، وحساب القيمة المشاهدة للصفة موضع الدراسة فى كل فرد من كل عشيرة ، ثم حساب تباين الصفة فى كل عشيرة بالمعادلة العامة التى سبق شرحها لدى مناقشة التباين البيئى ، وهى

$$V = \frac{\Sigma x^2 - \frac{(\Sigma x)^2}{n}}{n - 1}$$

وبذا .. يمكن الحصول على تباين الأبوين (V_{P1} ، و V_{P2}) ، و تباين الجيلين الأول الثانى (V_{F_1}، و V_{F_2}على التوالى) ، و تباين التلقيحين الرجعيين للأبوين (V_{B1}، وV_{B2} للأبوين الأول والثانى على التوالى) .

وتقدر– بعد ذلك– مكونات التباين الوراثى ؛ بالاستنباط من المعادلات التالية (عن Simmonds ١٩٧٩) :

$$V_{F_2} = V_A + V_D + V_E$$

$$V_{B_1} + V_{B_2} = V_A + 2V_D + 2V_E$$

$$V_E = (VP_1 + VP_2 + VF_1) / 3$$

ويحسب التباين الإضافى بطرح حاصل ضرب المعادلتين الأولى والثانية من المعادلة الثانية ، ثم تحسب قيمة تباين السيادة بطرح التباين الإضافى من التباين الوراثى.

كما يمكن تقدير مكونات التباين الوراثى كما يلى (عن Benepal & Hall ١٩٦٧) :

$$V_A = 2(V_{F_2} - \frac{1}{4} V_D - V_E)$$

$$V_D = 4(V_{B_1} + V_{B_2} - V_{F_2} - V_E)$$

وتقدر مكونات التباين الوراثى كذلك بالمعادلات التالية (Warner ١٩٥٢) :

$$V_A = 2 V_{F_2} - V_{B_1} - V_{B_2}$$

$$V_D = V_{F_2} - V_E - V_A$$

ويذكر Gamble (١٩٦٢) طريقة مبسطة ؛ للاستدلال على أهمية فعل الإضافة ، والسيادة ، والتفاعل للجينات المتحكمة فى الصفات الكمية من ست قيم إحصائية ، يستعمل فى حسابها المتوسطات الحسابية لكل من الأبوين (الأول $\bar{P}_1$ ، والثانى $\bar{P}_2$) ، والجيلين (الأول $\bar{F}_1$ ، والثانى $\bar{F}_2$) ، والتلقيحين الرجعيين (إلى الأب الأول $\bar{B}_1$ ، وإلى الأب الثانى $\bar{B}_2$) . وفيما يلى القيم الست وطريقة حسابها :

m (المتوسط العام) $= \bar{F}_2$

a (الفعل الإضافى للجينات) $= \bar{B}_1 - \bar{B}_2$

d (فعل السيادة للجينات) $= \bar{F}_1 + 2\bar{B}_1 + 2\bar{B}_2 - \frac{1}{2} P_1 - \frac{1}{2} \bar{P}_2 - 4\bar{F}_2$

aa (تفاعل الفعل الإضافى × الإضافى) $= 2\bar{B}_1 + 2\bar{B}_2 - 4\bar{F}_2$

ad (تفاعل الفعل الإضافى × السيادة) $= \frac{1}{2} \bar{P}_2 + \bar{B}_1 - \frac{1}{2} \bar{P}_1 - \bar{B}_2$

dd (تفاعل السيادة × السيادة) $= \bar{P}_1 + \bar{P}_2 + 2\bar{F}_1 + 4\bar{F}_2 - 4\bar{B}_1 - 4\bar{B}_2$

تعد القيم السابقة مجرد دليل على وجود الأنواع المختلفة من فعل الجينات وأهميتها ،ولكنها لا تفسر نسبة إلى التباينات الوراثية المختلفة ، التى تقدر بالطريقة التالية :

$$V_m = V\bar{F}_2$$

$$V_A = V\bar{B}_1 + V\bar{B}_2$$

$$V_D = V\bar{F}_1 + 16V\bar{F}_2 + \frac{1}{4} V\bar{P}_1 + \frac{1}{4} V\bar{P}_2 + 4V\bar{B}_1 + 4V\bar{B}_2$$

$$V_{AA} = 4V\bar{B}_1 + 4V\bar{B}_2 + 16V\bar{F}_2$$

$$V_{AD} = V\bar{B}_1 + \frac{1}{4} V\bar{P}_1 + V\bar{B}_2 + \frac{1}{4} V\bar{P}_2$$

$$V_{DD} = V\bar{P}_1 + V\bar{P}_2 + V\bar{F}_1 + 16V\bar{F}_2 + 16V\bar{B}_1 + 16V\bar{B}_2$$

هذا .. مع العلم بأنه لايلزم لحساب أى من القيم السابقة الذكر سوى المتوسطات الحسابية للعشائر الست من تجربة بمكررات بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة . يلى ذلك .. حساب الانحراف القياسى ، وقيمة "t" لكل تباين منها ، وهى التى يستدل منها على مدى جوهرية كل نوع من التباين . وتوجد معادلات لحساب التباينات السابقة عند

- عدم توفر بيانات عن التلقيحات الرجعية مع توفر بيانات عن الجيل الثالث .

اختبار اسكيلنج Scalling Tests .

يجرى اختبار اسكيلنج ؛ للتأكد من أمرين هما :

١- غياب التفاعل بين الجينات غير الأليلية .

٢- غياب التفاعل بين العوامل الوراثية والعوامل البيئية .

وترجع أهمية هذا الاختبار إلى أن معظم الطرق والمعادلات المستعملة فى حساب تباين الإضافة وتباين السيادة تفترض عدم وجود أى تفاعل بين الجينات وبعضها .

وتتوفر تفاصيل اختبارات اسكيلنج فى مراجع الوراثة الكمية والإحصائية ، مثل Singh & Chaudhary(١٩٧٩) ، ولايسعنا فى هذا المقام إلا أن نقدم للقارئ فكرة عامة عن ماهية هذه الاختبارات .

توجد أربعة اختبارات اسكيلنج ، تأخذ الرموز A ، و B ، و C ، و D ، ويعتمد كل اختبار منها على توفر بيانات عن المتوسطات الحسابية لعشائر الأبوين ($\bar{P}_1$ ، و $\bar{P}_2$) ، والجيلين الأول ($\bar{F}_1$) ، والثانى ($\bar{F}_2$) ، والتلقيحين الرجعيين للأب الأول ($\bar{B}_1$) ، والثانى ($\bar{B}_2$) ، على أن يحصل على المتوسطات من تجربة بمكررات بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة ، ويجرى اختبار اسكيلنج (D) عند توفر بيانات عن الجيل الثالث (F_3) مع غياب بيانات عن التلقيحات الرجعية .

يدل عدم اختلاف قيم اختبارات اسكيلنج (A) ، و (B) ، و (C) ، و (D) جوهرياً عن الصفر، أو عن حدود الانحراف القياسى لكل منها على عدم وجود أية تفاعلات ضمن مكونات تباين الشكل المظهرى ؛ وبذا .. يمكن تقدير قيم تباين الإضافة وتباين السيادة بالطريقة السهلة التى سبق بيانها ، التى تعتمد على قيم تباينات الآباء ، والجيلين الأول والثانى ، والتلقيحات الرجعية. أما إذا اختلفت قيم أى من اختبارات اسكيلنج جوهرياً عن الصفر .. فإن ذلك يكون دليلاً على وجود تفاعل بين جينات غير آلية تتحدد نوعيتها حسب

الاختبار الجوهرى كما يلى :

الاختبار الجوهرى	التفاعل المتوقع
D	إضافى × إضافى بصفة أساسية
C	سيادة × سيادة
A ، و B	إضافى × إضافى ، وسيادة × سيادة ، وإضافى × سيادة

ويلزم - فى هذه الحالة - تقدير مكونات تباين الإضافة والسيادة والتفاعلات المختلفة من تباينات متوسطات عشائر الآباء ، والجيلين الأول والثانى ، والتلقيحات الرجعية بالطريقة التى سبق بيانها (Singh & Chaudhary ١٩٧٩) .

ويوجد اختبار اسكيلنج آخر ؛ للتعرف على مدى استقلالية التأثير البيئى عن التأثير الوراثى ؛ أى لاختبار غياب التفاعل بين البيئة والوراثة . ويجرى الاختبار بمقارنة تباينات العشائر غير الانعزالية V_{P1} ، و V_{P2} ، و V_{F1} باستخدام اختبار (F) وتحسب قيمة (F) بقسمة التباين الأكبر على التباين الأصغر ، فى كل مقارنة من المقارنات الثلاث الممكنة ، وهى : V_{P1} مع V_{P2} ، و V_{P1} مع V_{F1} ، و V_{P2} مع V_{F1} . تعرف جوهرية قيمة (F) المحسوبة لكل مقارنة من جدول (F) ، مع اعتبار درجات الحرية الأفقية للبسط ، والرأسية للمقام ، وتحسب درجات الحرية على اعتبار أنها = ن - ١ ؛ حيث تمثل (ن) عدد الأفراد التى استخدمت فى حساب قيمة التباين . وتدل جوهرية الاختبار على وجود تفاعل وراثى × بيئى (Sheppard ١٩٧٣) .

تصميم دایالیل Diallel Design

يستعمل تصميم دایالیل التزاوجى diallel mating design فى تقدير مكونات التباين الوراثى . ويتم - أولا - اختيار مجموعة من التراكيب الوراثية (تسمى الآباء) من عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية فى الصفة المراد دراستها ، مع المحافظة على كل تركيب وراثى منها - بالإكثار بطريق التلقيح الذاتى - حتى يمكن تقييمها فيما بعد. يلى ذلك .. إجراء كل التزاوجات الممكنة بين التراكيب الوراثية (الآباء) المنتخبة ، وحصاد البذور التى تنتج من كل تلقيح منفصلة عن التلقيحات الأخرى. كما قد تجرى التلقيحات

العكسية reciprocal crosses – أيضا – حيث يستعمل كل تركيب وراثى – فى هذه الحالة – مرة كأب ، ومرة أخرى كأم فى كل التزاوجات الممكنة ، وتحصد البذور الناتجة من كل تلقيح منها منفصلة أيضاً . وبالإضافة إلى البذور الناتجة من كل التزاوجات والتزاوجات العكسية الممكنة .. فإن البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لكل تركيب وراثى قد تستخدم هى الأخرى فى التصميم

يتوقف عدد المداخل entries (العشائر الوراثية) التى يتم تقييمها فى تصميم داياليل على عدد التراكيب الوراثية (الآباء) المنتخبة من العشيرة الأصلية ، فإذا كان عددها (ن) .. يكون :

عدد التزاوجات بينها بدون التزاوجات العكسية $= \frac{ن (ن - ١)}{٢}$

عدد التزاوجات الممكنة بينها شاملة التزاوجات العكسية = ن (ن – ١)

ويمكن أن يتضمن التقييم فى تصميم داياليل واحدة من الحالات الست التالية :

١– التزاوجات فقط .

٢– التزواجات ، والأنسال الناتجة من التلقيح الذاتى للآباء المنتخبة .

٣– التزواجات العكسية فقط .

٤– التزواجات العكسية والأنسال الناتجة من التلقيح الذاتى للآباء المنتخبة .

٥– التزاوجات والتزاوجات العكسية (داياليل كامل complete diallel) .

٦– التزاوجات والتزاوجات العكسية والأنسال الناتجة من التلقيح الذاتى للآباء المنتخبة .

ويعنى اعتماد التصميم على عدد قليل من الآباء توقع زيادة كبيرة فى الخطأ التجريبى sampling error فى القيم الإحصائية المحسوبة (قيم القدرة على التآلف) ، بينما تؤدى كثرة عدد الآباء إلى صعوبة إجراء داياليل كامل ، أو نصف داياليل ، وقد حدا ذلك بعلماء الوراثة الإحصائية إلى إجراء تصميم يعتمد على تحليل نتائج مجموعة محدودة فقط من التزاوجات ، من بين كل التزواجات الممكنة بين الآباء ، حينما يكون عددها كبيراً .

يعتمد تحليل الداياليل على توفر بيانات عن الصفة المراد قياسها ، تؤخذ من تجربة

بمكررات مصممة إحصائياً (يفضل عادة اتباع تصميم القطاعات العشوائية الكاملة Randomized Complete Block Design) . وتدخل فى التصميم كل العشائر الوراثية التى يرغب فى استعمالها حسب نوع الداياليل، وهى: التزاوجات مع الآباء ، أو بدونها ؛ ومع التزاوجات العكسية ، أو بدونها. ويعتبر كل تزاوج أو أب معاملة فى التصميم ، تؤخذ منها قراءة واحدة لكل صفة مدروسة من كل مكررة .

إن العرض المفصل لخطوات تحليل تصميم الداياليل يخرج عن أهداف هذا الكتاب ، ويمكن الرجوع إليه فى أحد المصادر المتخصصة؛ مثل Griffing (١٩٥٦) ، و Hansen & Robinson(١٩٦٣) و Mather & Jinks (١٩٧٧) ، و Singh & Chaudhary (١٩٧٩) الذى يعد من أيسر المراجع فى هذا الموضوع لغير المتخصصين فى الوراثة الإحصائية ، ويفيد التصميم فى عمل تحليل كامل لمكونات التباين الوراثى لكل صفة مقيسة فضلاً عن الاستفادة منه فى تقدير المقدرة العامة على التآلف general Combining ability (GCA) والمقدرة الخاصة على التآلف Specific Combining ability (SCA) للآباء المستخدمة فى التصميم ، وهى القيم التى يكون لها أهمية بالغة عند استعمال الآباء فى إنتاج الأصناف الهجين أو الأصناف التركيبية (يراجع لذلك الفصل الخاص بالأصناف الهجين) . ونكتفى – فيمايلى – بعرض موجز لتحليل داياليل وكيفية استعماله فى تقدير مكونات التباين الوراثى (عن Fehr ١٩٨٧) .

يمكن تقدير مكونات التباين الوراثى بتحليل التباين ، من تصميم داياليل الذى يتضمن التلقيحات فقط (جدول ٤ – ٣) . ويمكن تقسيم الاختلافات بين التلقيحات فى الداياليل إلى اختلافات بين عائلات أنصاف الأقارب half-sib families (HS) واختلافات بين عائلات الأقارب التامة full - sib families (FS) ، علما بأنه توجد عائلة أنصاف أقارب لكل أب فى الداياليل . ويقدر سلوك عائله من أنصاف الأقارب من المتوسط المحسوب لجميع التلقيحات التى تشترك معاً فى أحد الآباء. وتعد الاختلافات بين عائلات أنصاف الأقارب تقديراً للقدرة العامة على التآلف ، أما عائلات الأقارب التامة .. فهى التى تنتج من تزاوج أبوين لكل منها ؛ وبذا .. فإن عدد عائلات الأقارب التامة فى تصميم الدياليل يساوى عدد التزاوجات التى يجرى تقييمها. ويستعمل سلوك عائلات الأقارب التامة فى تقدير القدرة الخاصة على التآلف .

جدول (٤ – ٣) : تحليل التباين لتصميم داياليل يشتمل على $\frac{ن (ن - ١)}{٢}$ تلقيح بين عدد (ن) من الآباء ، وعدد (r) من المكررات .

مصدر التباين	عدد درجات الحرية	التباين (أ) (mean square)
المكررات	$r - 1$	
التلقيحات	$[n (n - 1) / 2] - 1$	M_2
القدرة العامة على التآلف (GCA)	$n - 1$	M_{21}
القدرة الخاصة على التآلف (SCA)	$n (n - 3) / 3$	M_{22}
الخطأ التجريبى	$(r - 1) \{[n (n - 1) / 2] - 1\}$	M_1
المجموع	$m - 1$	

(أ) تشمل توقعات التباينات المختلفة على ما يلى :

$$M_2 = V_e + rV_c$$

$$M_{21} = V_e + r\,(Cov\ FS - 2\ Cov\ HS) + r\,(n - 2)\ Cov\ HS$$

$$M_{22} = V_e + r\,(Cov\ FS - 2\ Cov\ HS)$$

$$M_1 = V_e$$

حيث يمثل (V_e) تباين الخطأ التجريبى ، و (V_c) تباين التلقيحات ، و (Cov FS) التباين المرافق لعائلات الأقارب التامة ، و (Cov HS) التباين المرافق لعائلات أنصاف الأقارب .

هذا .. وتعتمد مكونات التباين الوراثى الملازمة للتباين المرافق covariance لعائلات أنصاف الأقارب (Cov HS) ، وعائلات الأقارب التامة (Cov FS) على مدى التربية الداخلية (F) للتراكيب الوراثية المستعملة كآباء فى الداياليل ؛ فعندما تكون الآباء عبارة عن نباتات من الجيل الثانى أو سلالات مستمدة منها (أى إن F= صفراً) .. تصبح مكونات

التباين الوراثى كما يلى :

$$Cov\ HS = \frac{1}{4} V_A + \frac{1}{16} V_{AA}$$

$$Cov\ FS = \frac{1}{2} V_A + \frac{1}{4} V_A + \frac{1}{4} V_{AA}$$

ويضاف - أيضاً - إلى الجانب الإيمن للمعادلة الأولى الدرجات الأعلى من تباينات التفوق الإضافية ، بينما يضاف - كذلك - إلى الجانب الأيمن من المعادلة الثانية تباينات التفوق الأخرى الإضافية والسيادة ، وبفرض عدم وجود تفوق .. فإن التباين الإضافى (VA) يحصل عليه بضرب قيمة الـ Co HS ، فى أربعة (المعادلة الأولى) . كما يمكن الحصول على تقدير لتباين السيادة (VD) كما يلى :

$$V_D = 4\ (Cov\ FS - 2\ Cov\ HS)$$

$$= 4\ [\ (\frac{1}{2}\ V_A + \frac{1}{4}\ V_D) - 2\ (\frac{1}{4}\ V_A)\ ]$$

وعندما تكون الآباء عبارة عن سلالات مرباة تربية داخلية ، ومختارة عشوائيا من العشيرة (أى F=1) .. فإن مكونات التباين الوراثى .. تصبح كما يلى :

$$Cov\ HS = \frac{1}{2}\ V_A + \frac{1}{4}\ V_{AA}$$

$$Cov\ FS = V_A + V_D + V_{AA}$$

ويشتمل الجانب الأيمن للمعادلة الأولى على الدرجات الأعلى من تباينات التفوق الإضافية ، بينما يشتمل الجانب الأيمن من المعادلة الثانية على تباينات التفوق الأخرى والسيادة . وبفرض عدم وجود تفوق .. فإن التباين الإضافى (VA) يُحْصَل عليه بضرب قيمة الـ Cov HS فى ٢ . كما يمكن الحصول على تقدير لتباين السيادة (VD) كما يلى:

$$Cov\ FS - 2\ Cov\ HS = (V_A + V_D) - 2\ (\frac{1}{2}\ V_A) = V_D$$

تصميم رقم ١ Design I

يمكن تقدير مكونات التباين الوراثى - أيضاً - بواسطة مايعرف بتصميم رقم (١) أو الـ nested design . ويتضمن الجيرمبلازم الذى يستخدم لهذا التصميم تلقحيات بين نباتات تؤخذ اعتباطا من عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية ، مع تخصيص بعض هذه

النباتات كآباء male parents (P_m) ، و البعض الآخر كأمهات famale parents (P_f) . يستخدم كل أب (ذكر) فى تلقيح عدد متساو من الأمهات (إناث) ، على أن يتم اختيار الآباء والأمهات بشكل اعتباطى ، وتستخدم مجموعات مختلفة من نباتات الأمهات مع كل نبات مستعمل كأب ، وبذا .. يكون عدد التلقيحات الفردية الممكنة مساوياً لعدد الآباء (P_m) مضروبا فى عدد الأمهات (P_f) التى يتم تزاوجها مع كل أب. فإذا تم تزاوج (١٠) سلالات آباء مع (٥٠) سلالة أمهات ، بمعدل خمس سلالات مختلفة لكل سلالة من سلالات الآباء .. يصبح عدد التلقيحات الفردية ١٠ × ٥ = ٥٠ تلقيحاً. ويستخدم – غالبا – تصميم القطاعات العشوائية الكاملة كتصميم إحصائى لدراسة الصفات .

ويتم تقسيم الاختلافات بين التلقيحات إلى اختلافات بين الآباء (الذكور) ، واختلافات بين الأمهات (الإناث) لكل ذكر ، وتكون مصادر الاختلافات ودرجات الحرية فى التحليل الإحصائى على النحو التالى :

مصادر الاختلافات	درجات الحرية	التباين
المكررات	r-1	
الذكور	m-1	M_3
الإناث لكل ذكر	m(f-1)	M_2
الخطأ التجريبى	(r-1) (mf-1)	M_1
الكلى	rmf-1	

حيث تمثل (r) عدد المكررات، و (m) عدد نباتات أو سلالات الآباء (الذكور) ، و (f) عدد نباتات أو سلالات الأمهات (الإناث) المستخدمة مع كل ذكر ، هذا .. ويعد تباين الذكور ممثلاً للقدرة العامة على التآلف بينما يعد تباين الإناث ممثلا للقدرة الخاصة على التآلف ، وتشتمل توقعات التباينات المختلفة على مايلى :

$$M_3 = V_e + r\,(\,Cov\ FS - Cov\ HS\,) + rf\ Cov\ HS$$

$$M_2 = V_e + r\,(\,Cov\ FS - Cov\ HS\,)$$

$$M_3 = V_e$$

علما بأن Cov FS هو التباين المرافق لعائلات الأقارب التامة ، Cov HS هو التباين لعائلات أنصاف الأقارب ، V_e هو تباين الخطأ التجريبى . وبذا يمكن حساب التباين الإضافى (VA) وتباين السيادة (VD) بنفس الطريقة التى سبق بيانها لدى مناقشة تصميم داياليل .

هذا.. ويمكن إجراء التصميم بالطريقة التى سبق بيانها مع زراعة عدد K من النباتات فى كل قطعة تجريبية (Plot) وإجراء تحليل التباين على النحو التالى :

مصادر الاختلافات	درجات الحرية	توقعات متوسط المربعات
الذكور	m-1	$V+kV_t+rkV_{f/m}+nrkV_m$
الإناث لكل ذكر	m(f-1)	$V+kV_t+rkV_{f/m}$
القطع التجريبية لكل ذكر ولكل أنثى	mf(r-1)	$V+kV_t$
الخطأ التجريبى	mfr(k-1)	V
الكلى	mfrk-1	

علماً بأن :

V مجموع التباين الوراثى ، والتباين البيئى داخل القطع التجريبية .

V_t تباين تأثير القطع التجريبية .

V_f تباين تأثير الأمهات .

V_m تباين تأثير الآباء الذكور .

ويحسب التباين الإضافى (V_A) وتباين السيادة (V_D) كما يلى :

$$\frac{1}{4}V_A = V_m$$

$$\frac{1}{4}V_A + \frac{1}{4}V_D = V_f$$

تصميم رقم ٢ Design II

تقدر مكونات التباين الوراثى – كذلك – بواسطة مايعرف بالتصميم رقم (٢) ، وهو

تصميم عاملى factorial design ، تمثل فيه بعض النباتات المنتخبة من عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية كآباء (ذكور) ، والبعض الآخر كأمهات(إناث) ويلقح كل أب مع كل أم ، ولكن لاتلقح الآباء مع بعضها كما لاتلقح الأمهات مع بعضها كذلك ؛ وبذا .. يكون عدد التلقيحات الفردية الممكنة مساوياً لعدد الآباء (P_m) ، مضروباً فى عدد الأمهات (P_f) ؛ فلو كان عدد الآباء ثمانية ، وكان عدد الأمهات ستاً ، يكون عدد التلقيحات الفردية الممكنة ٨ × ٦ = ٤٨ تلقيحاً .

تقسم الاختلافات بين التلقيحات إلى اختلافات بين الآباء (الذكور) ، واختلافات بين الأمهات (الإناث) ، والتفاعل بين الذكور والإناث . ويمكن اعتبار التباين المرافق بين عائلات أنصاف الأقارب أنه Cov HS_m عندما يكون الأب (الذكر) مشاركاً فى كل التلقيحات ، و Cov HS_f حينما تكون الأم (الأنثى) مشاركة فى كل التلقيحات ، علما بأنه تتساوى مكونات التباين الوراثى المزاملة لكل منهما . وعندما تكون الآباء (الذكور والإناث) سلالات مرباة تربية داخلية (أى حينما تكون قيمة F مساوية للصفر) .. تكون مكونات التباين الوراثى كما يلى .

$$\text{Cov } HS_m \text{ and Cov } HS_f = \frac{1}{4} V_A + \frac{1}{16} V_{AA}$$

ويضاف إلى الجانب الأيمن من المعادلة الدرجات الأعلى من تباينات التفوق الإضافية . أما حينما تكون الآباء (الذكور والإناث) عبارة عن سلالات مرباه تربية داخلية (أى حينما تكون قيمة (F = 1) .. تصبح مكونات التباين الوراثى كما يلى :

$$\text{Cov } HS_m \text{ and Cov } HS_f = \frac{1}{2} V_A + \frac{1}{4} V_{AA}$$

ويضاف إلى الجانب الأيمن من المعادلة الدرجات الأعلى من تباينات التفوق الإضافية . وتستخدم قيم التباينات المرافقة لعائلات أنصاف الأقارب لكل من الآباء (الذكور) والأمهات (الإناث) فى إيجاد تقديرات مستقلة للتباين الإضافى (VA) . أما تقدير تباين السيادة (VD) ؛ فيمكن الحصول عليه من العلاقة التالية :

$$\text{Cov FS} - (\text{Cov } HS_m + \text{Cov } HS_f) = V_D$$

علما بأن

$$V_{mxf} = V_e + r\,(\text{Cov FS} - \text{Cov } HS_f - \text{Cov } HS_m)$$

حيث تمثل (V_{mxf}) تباين التفاعل بين الذكور والإناث ، و (V_e) تباين الخطأ التجريبى، و r عدد المكررات المستعملة فى التصميم الإحصائى . وتكون مصادر الاختلافات ودرجات الحرية فى التحليل الإحصائى على النحو التالى :

مصادر الاختلافات	درجات الحرية	التباين
المكررات (r)	r-1	
الذكور (m)	m-1	M_4
الإناث (f)	f-1	M_3
الذكور × الإناث	(m-1) (f-1)	M_2
الخطأ التجريبي	(r-1) (mf-1)	M_1
الكلى	rmf-1	

علماً بأن توقعات التباينات المختلفة تتضمن ما يلى :

$$M_4 = V_e + r\,(Cov\ FS - Cov\ HS_f - Cov\ HS_m) + rf\,Cov\ HS_m$$

$$M_3 = V_e + r\,(Cov\ FS - Cov\ HS_f - Cov\ HS_m) + rm\,Cov\ HS_f$$

$$M_2 = V_e + r\,(Cov\ FS - Cov\ HS_f - Cov\ HS_m)$$

$$M_1 = V_e$$

حيث يمثل (V_e) تباين الخطأ التجريبى ، و (Cov FS) التباين المرافق لعائلات الأقارب التامة ، و ($Cov\ HS_f$) التباين المرافق لعائلات أنصاف الأقارب حينما تكون الأم(الأنثى) مشاركة فى كل التلقيحات ، و ($Cov\ HS_m$) التباين المرافق لعائلات أنصاف الأقارب ، حينما يكون الأب (الذكر) مشاركا فى كل التلقيحات (عن Sprague ١٩٦٦، Fehr ١٩٨٧)

درجة التوريث

يرتبط مفهوم درجة التوريث Heritability – عادة – بالصفات الكمية ، إلا إنه لايوجد ما يحول دون استعمالها مع الصفات البسيطة التى تتأثر كثيراً بالعوامل البيئية . ويعنى

بدرجة التوريث : مدى تطابق ظهور الصفة فى الأنسال ، مع ظهورها فى أبائها من النباتات المنتخبة ، أو هى القدرة على توريث صفة ما من نبات منتخب إلى نسله . ويرمز لدرجة التوريث – عادة – بأحد الرمزين h^2 ، أو H وسيكتفى بالرمز الأخير (H) – عادة – للدلالة على درجة التوريث فى هذا الكتاب ، وهى ليست مربعاً لقيمة ما ، بل هى نسبة ، وتعرف درجتان للتوريث ، هما درجة التوريث على النطاق العريض ، ودرجة التوريث على النطاق الضيق ، بالإضافة إلى مايعرف بـ درجة التوريث المدركة أو الواقعة .

درجة التوريث على النطاق العريض او المطلق

تحسب درجة التوريث على النطاق العريض Broad Sense Heritability (تكتب اختصارا BSH ، ويرمز لها كثيرا بالرمز H) بالمعادلة التالية (عن Burton ١٩٥١) :

$$BSH = \frac{V_G}{V_{Ph}}$$

حيث يمثل V_G ، و V_{Ph} التباين الوراثى والتباين الكلى (تباين الشكل المظهرى Phenotypic Variance) على التوالى ، ويحصل على هذه القيم من العلاقات التالية :

$$V_{Ph} = V_{F_2}$$

$$V_{F_2} = V_G + V_E$$

$$V_E = (V_{P_1} + V_{P_2} + V_{F_1}) / 3$$

ويتبين من ذلك أن درجة التوريث على النطاق العريض تمثل نسبة التباين الوراثى إلى التباين الكلى ، الذى يشمل التباين الوراثى والتباين البيئى ، وقد تحسب كنسبة مئوية للتباين الوراثى من التباين الكلى ، وقد يحسب التباين البيئى على أساس أنه الجذر التربيعى لحاصل ضرب تباينى الأبوين (Frey & Horner ١٩٥٧) :

$$V_E = \sqrt{V_{P1} \times V_{P_2}}$$

وإذا توفرت بيانات عن الصفة فى الجيل الأول .. فإنه يفضل حساب التباين البيئى على

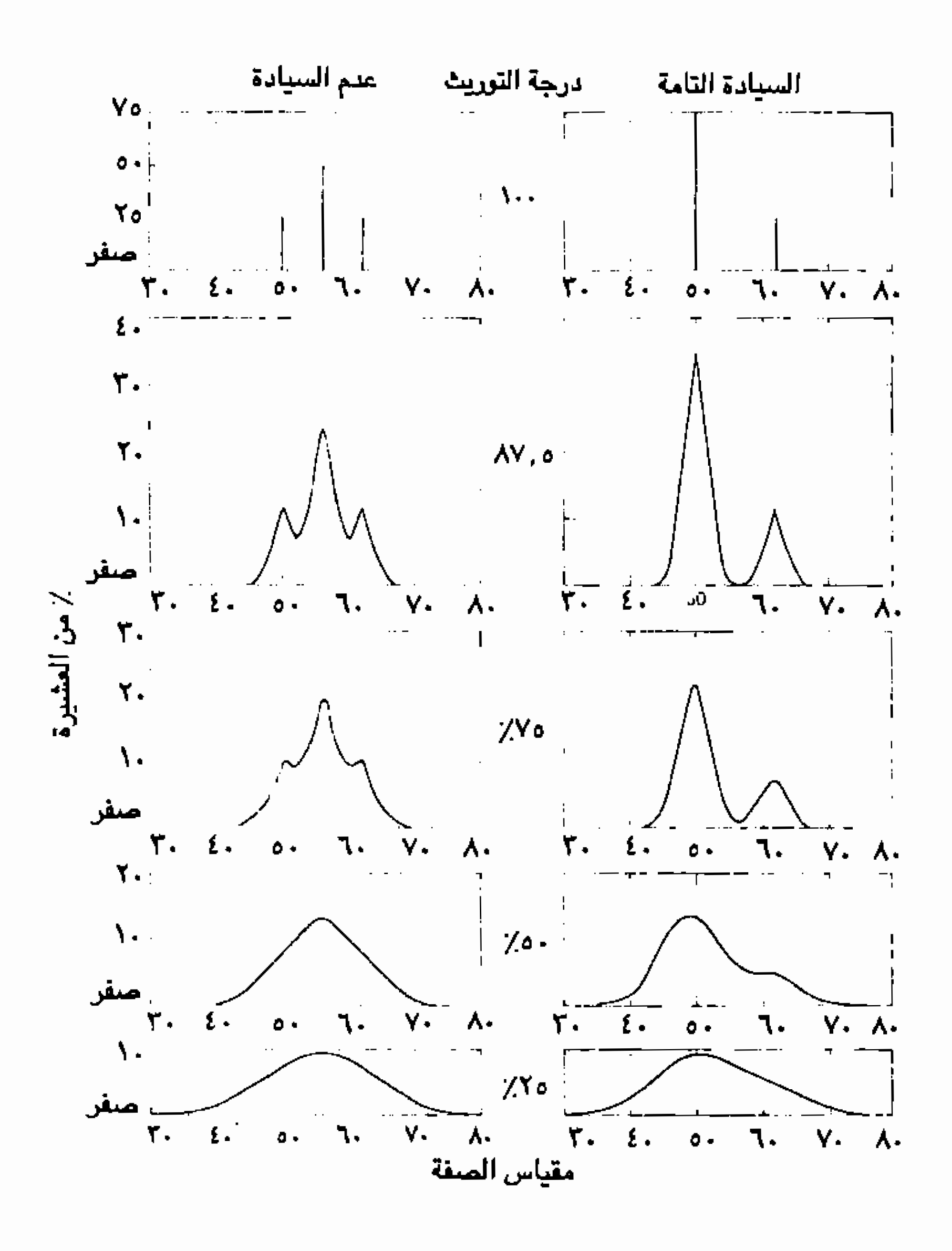
أساس أنه الجذر التكعيبي لحاصل ضرب تباين الجيل الأول في تبايني الأبوين كما يلي :

$$V_E = \sqrt[3]{V_{F_1} \times V_{P_1} \times V_{P_2}}$$

يعاب على أى من الطرق السابقة فى حساب التباين البيئى أن الأبوين قد يكون تأثرهما بالعوامل البيئية أعلى بكثير من تأثر نباتات الجيل الثانى ، وهو ما يحدث حينما يكون الأبوان سلالات مرباة تربية داخلية من محاصيل تلقح – خلطياً – بدرجة عالية فى الطبيعة ؛ حيث تكون الآباء ضعيفة النمو ، بينما تظهر قوة الهجين فى نباتات الجيل الثانى ، لذا يفضل – فى حالات كهذه – اعتبار تباين الجيل الأول ممثلاً للتباين البيئى .

ويتبين من المعادلات المستعملة فى حساب درجة التوريث أن قيمة BSH تزداد كلما قل تأثر الصفة بالعوامل البيئية . ويوضح شكل (٤ – ٥) كيف يبدو ذلك عمليا فى توزيع صفة بسيطة (يتحكم فيها جين واحد) بين أفراد الجيل الثانى ، عند اختلاف درجة التوريث التى تقل – تدريجياً – من ١٠٠٪ إلى ٢٥٪ مع الاتجاه من أعلى لأسفل فى الشكل ، وبينما تمثل الرسوم البيانية – فى العمود الأيمن – التوزيع المتوقع للصفة فى حالات السيادة التامة .. فإن العمود الأيسر يمثل التوزيع المتوقع فى حالات غياب السيادة . ويفترض فى جميع الأشكال أن الأبوين يختلفان فى ١٢ وحدة من الوحدات التى تقاس بها الصفة .

يلاحظ من الشكل أن الأشكال المظهرية تكون ممثلة تماماً للتراكيب الوراثية المنعزلة فى الجيل الثانى ، حينما لا تتأثر الصفة بالعوامل البيئية ؛ أى حينما تكون درجة التوريث ١٠٠٪ ، وهو ما يلاحظ – عادة – فى عديد من الصفات البسيطة ؛ كلون الأزهار مثلاً ، ومع نقص درجة التوريث إلى ٨٧,٥٪ يبدأ ظهور تداخل فى الشكل المظهرى بين فئات التراكيب الوراثية الثلاثة فى حالة غياب السيادة ، وبين التراكيب السائدة والمتنحية فى حالة السيادة التامة ؛ ويحدث ذلك نتيجة لتأثير البيئة على الشكل المظهرى للفرد ؛ حيث تزيد قيمة الصفة بدرجات متفاوتة فى بعض الأفراد ، وتقل بدرجات متفاوتة – كذلك – فى أفراد أخرى ، تحمل جميعها نفس التركيب الوراثى . ويزداد هذا التداخل مع زيادة تأثر الصفة بالعوامل البيئية – أى مع نقص درجة التوريث – إلى أن تختفى الحدود بين توزيع



شكل (٤ – ٥) : التوزيعات المتوقعة في الجيل الثاني لصفة بسيطة ، يتحكم فيها جين واحد تبلغ درجة توريثها (من أعلي لأسفل في الشكل) ١٠٠٪ ، ٥ر٨٧٪ ، و ٧٥٪ ، ٥٠٪ ، ٢٥٪ في حالتى السيادة التامة (العمود الأيمن) ، وغياب السيادة (العمود الأيسر) راجع المتن للتفاصيل (عن Allard ١٩٦٤) .

فئات التراكيب الوراثية . وبينما يقترب توزيع الصفة - بين أفراد الجيل الثانى - من التوزيع الطبيعى عند غياب السيادة .. فإنه يكون مجنحاً Skewed نحو الصفة السائدة فى حالة السيادة . وتكون درجة التوريث مرتفعة - عادة - فى الصفات البسيطة والنوعية عامة ، بينما تكون منخفضة فى الصفات الكمية ، التى تشمل معظم الصفات الاقتصادية المهمة ؛ فنجد أن درجة توريث بعض الصفات فى نبات الذرة - على سبيل المثال - تقدر بنحو ٧٠٪ بالنسبة لصفة طول النبات ، و ٢٥٪ بالنسبة للمحصول ، و ١٧٪ بالنسبة لصفة طول الكوز . وترجع أهمية درجة التوريث إلى أن الانتخاب لصفة ما تقل فاعليته كلما انخفضت درجة التوريث ؛ لأن النباتات المنتخبة ربما لا تعكس حقيقة التراكيب الوراثية المرغوب فيها ؛ لذا .. فإن التعامل مع الصفات ذات درجات التوريث المنخفضة يتطلب أمرين هما :

١- انتخاب عدد كبير من النباتات التى تظهر بها الصفة ؛ لأن جزءاً كبيراً منها لايكون ممثلاً للتركيب الوراثى المرغوب فيه .

٢- اختبار نسل النباتات المنتخبة قبل الاستمرار ، فى الاعتماد عليها فى برنامج التربية ، ويفضل أن يختبر النسل فى مكررات ، عندما تكون الصفة المعنية كمية ، وذات درجة توريث شديدة الانخفاض .

درجة التوريث على النطاق الضيق

إن أهم مكونات التباين الوراثى المؤثرة على فاعلية عملية الانتخاب هى التباين الإضافى ، فمع افتراض أن الصفة يتحكم فيها جين واحد ، ولاتتأثر بالعوامل البيئية (الرسوم العلوية من شكل ٤ - ٥) .. نجد أن أى نبات منتخب - عند غياب السيادة - يكون ممثلاً للتركيب الوراثى المرغوب ، بينما تكون النباتات المنتخبة الحاملة للصفة السائدة - فى حالة السيادة - من أحد تركيبين وراثيين هما : السائد الأصيل ، أو السائد الخليط . وتزداد الحالة تعقيداً كلما قلت درجة توريث الصفة - بطبيعة الحال - كما أن التفاعل بين الجينات غير الآليلية ، والتفاعلات بين التأثيرات المختلفة للجينات وبعضها البعض ، وبين تأثير الجينات وتأثير البيئة يقلل بدرجة أكبر من جدوى الانتخاب ؛ لأن النباتات المنتخبة لاتكون ممثلة للتراكيب الوراثية المرغوب فيها ، الأمر الذى لايتأتى إلا

حينما تكون الجينات التى تتحكم فى الصفة ذات تأثير إضافى ؛ ولذا .. فإن درجة التوريث الأهم للمربى هى تلك التى تأخذ فى الاعتبار نسبة التباين الإضافى (V_A) إلى التباين الكلى (V_{Ph}) ، أو هى النسبة المئوية للتباين الإضافى من التباين الكلى ، وتسمى درجة التوريث على النطاق الضيق Narrow Sense Heritability (تكتب اختصارا NSH ، ويرمز لها - كثيراً - بالرمز h^2) ، وتكتب معادلتها العامة كما يلى :

$$NSH = \frac{V_A}{V_{Ph}}$$

يعد التباين الإضافى (V_A) أهم مكونات هذه المعادلة ، وتتبع عدة طرق لإيجاده ، أو لإيجاد درجة التوريث على النطاق الضيق مباشرة ، نتناولها - بالشرح - فى الجزء التالى .

طرق تقدير درجة التوريث على النطاق الضيق

يتأثر تقدير درجة توريث صفة ما بعديد من العوامل ؛ ولذا .. فإن القيم المتحصل عليها يجب أن تفسر فى نطاق الطريقة التى اتبعت للحصول عليها ؛ ذلك لأن قيم التباين الإضافى لصفة ما .. قد تختلف من صنف إلى آخر ، ومن عشيرة وراثية لأخرى ، كما أن درجة التوريث هى حاصل قسمة قيمتين ، يكون فيهما التباين البيئى (V_E) أحد المكونات الهامة للمقام ، وهو الذى يتأثر كثيراً بالتصميم التجريبى المتبع ، وبعدد المكررات المستعملة ، ومساحة الوحدات التجريبية ... إلخ . وفيما يلى .. شرح لبعض الطرق المتبعة فى تقدير التباين الإضافى ، أو فى تقدير درجة التوريث على النطاق الضيق مباشرة .

طريقة تحليل مكونات التباين :

١- تتبع أى من الطرق التى سبق بيانها عند مناقشة مكونات التباين الوراثى فى تقدير التباين الإضافى وهى طرق : تصميم داياليل ، والتصميم رقم (١) ، والتصميم رقم (٢) . ويستعمل تقدير التباين الإضافى بعد ذلك فى حساب درجة التوريث على النطاق الضيق باستعمال المعادلة العامة .

٢- طريقة ارتداد الأنسال على الآباء :

ينسب إلى Lush عـام ١٩٤٠ (عن Fehr ١٩٨٧) طريقـة ارتداد الأنسـال على الآباء Parent-Offspring Regression لتقدير درجـة التوريث على النطاق الضـيق مباشرة ؛ حيث تمثل قيمة معامل الارتداد (b) درجة التوريث فى المعادلة :

$$Y_i = a + b\, x_i + e_i$$

حيث تمثل (Y_i) متوسط قيمة الصفة فى نسل الأب (i) الذى تبلغ قيمة الصفة فيه (X_i) و (a) المتوسط العام للصفة فى جميع الآباء المستعملة ، و (e_i) الخطأ التجريبى المصاحب لـتقدير X_i ، أما(b) فـهـى معامل الارتـداد الخـطى linear regression coefficient .

ويقصد بالآباء فى العشائر النباتية أى نبات أو سلالة عشوائية من العشيرة . ويقصد بالنسل النباتات التى تنمو من زراعة البذور التى تحصد من النباتات المنتخبة ، سواء نتجت هذه البـذور بطريقة التلقيح الذاتى selfed progeny أم بطريق التلقـيح الخلطى العشوائى half-sib progeny . كما يمكن استعمال ارتداد الأنسال على متوسط قيمة الأبوين الذى يمثل العلاقة بين متوسط الصفة فى الأبوين mid-parent point ، ونسلهما المشترك full-sib offspring . وتستعمل – عادة – نباتات الجيل الثانى – الذى نفترض أن تتوفر فيه جميع الاختلافات الوراثية – فى تقدير معامل الارتداد الخطى ؛ حيث تنتخب مجموعة كبيرة – نسبياً – من النباتات ، تكون ممثلة لكافة الأشكال المظهرية المشاهدة ، ثم تؤخذ أنسالها ، ويقدر متوسط الصفة فى كل نسل على حدة ، ويلى ذلك .. حساب معامل الارتداد بالمعادلة السابقة ، وتتوقف قيمة درجة التوريث على النطاق الضيق على طريقة الحصول على النسل كما يلى :

أ – عندما تكون الأنسال ناتجة من التلقيح العشوائى بين النباتات المنتخبة وبقية النباتات فى الحقل :

تكون نصف الأليلات فى كل نسل فى هذه الحالة من النبات المنتخب (الأب) ، والنصف الآخر من بقية العشيرة ؛ ولذا .. فإن قيمة (b) المحسوبة تمثل نصف درجة

التوريث ؛ أى إن درجة التوريث تكون فى هذه الحالة ضعف قيمة (b) . وتحسب قيمة (b) بالطريقة الإحصائية العادية ، التى يمكن الاطلاع على تفاصيلها فى أى من مراجع الإحصاء ؛ مثل Cochran & Cox (٩٥٧) ، و Steel & Torrie (١٩٦٠) ، و Snedecor & Cochran (١٩٦٧) ، و Little & Hills (١٩٧٨) ، و Gomez & Gomez (١٩٨٤) .

ويتبين لدى التحليل الوراثى الإحصائى للطريقة التى يتم بها تقدير (b) فى هذه الحالة أنها تمثل كلا من التباين الإضافى وتباين التفاعل ، نسبة إلى التباين الكلى ، ولكنها لاتتضمن أى جزء من تباين السيادة ، لذا .. فإنه يمكن اعتبارها ممثلة لنصف قيمة درجة التوريث على النطاق العريض ، إلا إذا كان للتفاعل بين الجينات غير الآليلية أهمية كبيرة .

ب – عندما تكون الأنسال ناتجة من التلقيح الذاتى :

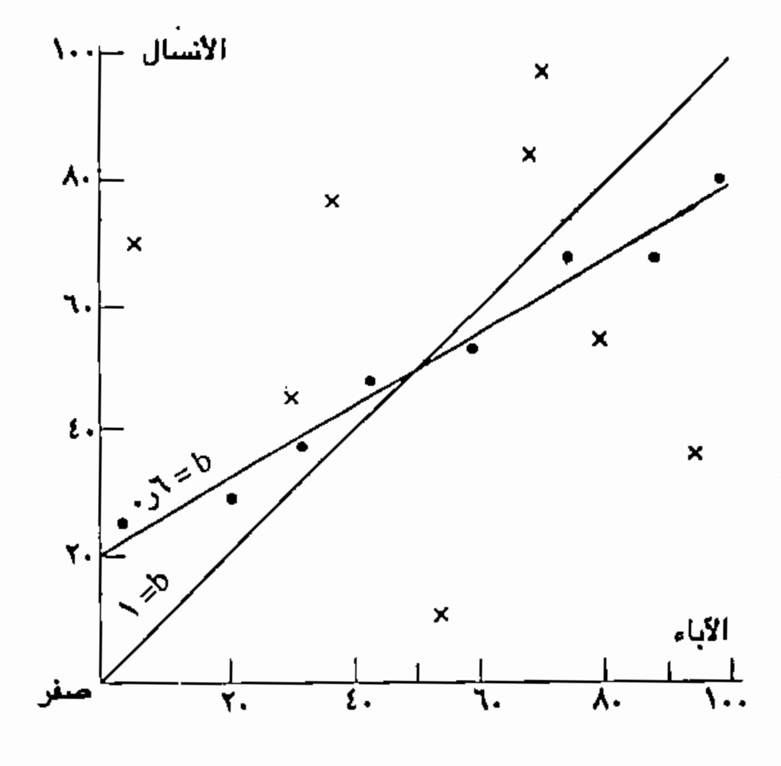
تكون جميع الآليلات فى كل نسل فى هذه الحالة من النبات المنتخب ، وتكون قيمة (b) ممثلة لدرجة التوريث مباشرة .

جـ – الأنسال الناتجة من التلقيح بين آباء منتخبة :

تعرف الانسال الناتجة فى هذه الحالة بأنها أنسال الأقارب full-sib progenies . ويلزم – فى هذه الحالة – تقدير الصفة فى كل أبوين يجرى تلقيحهما ، ثم تحسب القيمة الوسطية للصفة بينهما ، ومتوسط قيمة الصفة فى نسلهما ، ويكون ارتداد الأنسال محسوباً على القيمة الوسطية للآباء ، وتكون جميع الآليلات فى كل نسل من النبات المنتخب ، وتكون قيمة (b) المحسوبة ممثلة لدرجة التوريث مباشرة ، وهى تمثل التباين الإضافى وتباينات الطرز الإضافية لحالات التفوق (التفاعلات بين الجينات غير الآليلية) ؛ لذا .. يمكن اعتبار (b) ممثلة لدرجة التوريث على النطاق الضيق إذا كانت تفاعلات الإضافة غير مهمة .

يبين شكل (٤ – ٦) مثالاً نظرياً لثلاث حالات من ارتداد الأنسال على الآباء ، هى فى حالة b=1 (أى إن درجة التوريث ١٠٠٪) ، b=٠,٦ (أى إن درجة التوريث عالية) ،

وb= صفراً (أى إن درجة التوريث = صفراً) . يتبين من الشكل كيف تكون قيم الأنسال ممثلة تماما لقيم الآباء ، حينما تكون قيمة (b) واحداً صحيحاً ، وكيف أنها تكون متناثرة بالقرب من خط الإرتداد حينما تكون قيمة (b) عالية (وهى القيم الممثلة فى الشكل بالنقط السوداء) ، وكيف أنها تتناثر دونما علاقة بقيم الآباء عندما تكون درجة التوريث مساوية للصفر (وهى القيم الممثلة فى الشكل بحروف x).أما شكلا (٤ – ٧) ، و (٤ – ٨) .. فيبينان تقديرين مختلفين لدرجة توريث صفة واحدة ، هى المقاومة لعفن الجذور الجاف (الفيوزارى) فى الفاصوليا ، ولكن من مصدرين مختلفين هما السلالة 12-2114 فى شكل (٤ – ٧) ، والسلالة N203 فى شكل (٤ – ٨) .



شكل (٤ – ٦) : مثال نظرى لثلاث حالات من ارتداد الأنسال على الآباء فى b =١ ، و b = ٠,٦ ، و b = صفراً . راجع المتن للتفاصيل (عن Simmonds ١٩٧٩) .

ويعتمد تقدير درجة التوريث بطريقة ارتداد الأنسال على آبائها على عدة فروض هى :

(أ) أن تكون النباتات ثنائية المجموعة الصبغية .

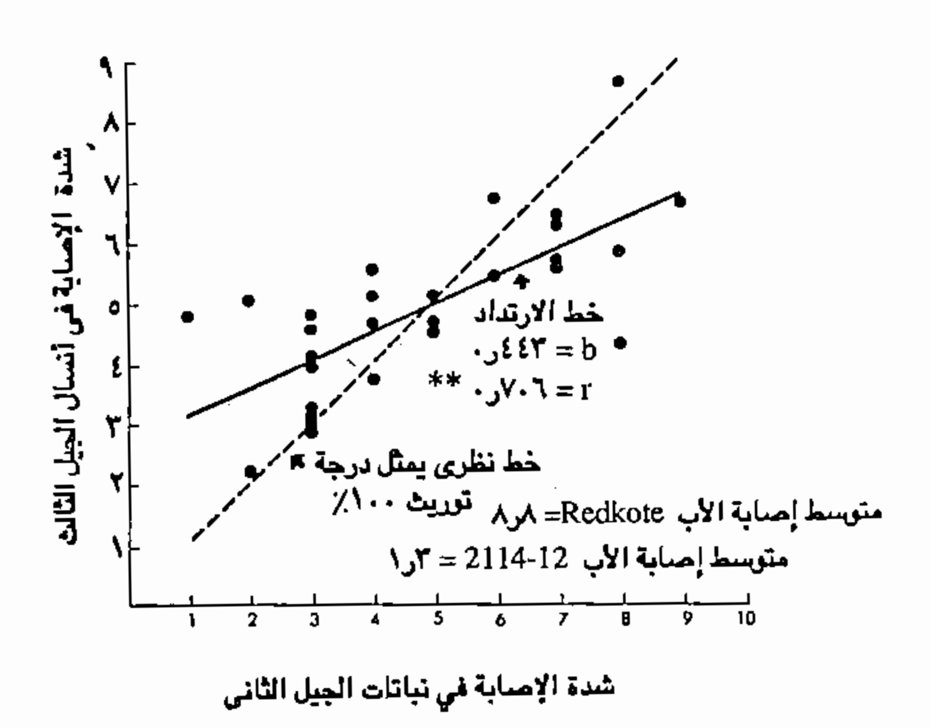
(ب) أن تكون العشيرة ناتجة من تلقيح عشوائى .

(جـ) ألا يوجد ارتباط بين الجينات المتحكمة فى الصفة .

(د) ألا تكون الآباء سلالات مرباة تربية داخلية .

(هـ) ألا يوجد ارتباط بينى بين سلوك الآباء والأنسال .

ويؤدى عدم توفر أى من هذه الفروض إلى أن يصبح تقدير التوريث متحيزاً ، ولايشكل ذلك مشكلة – عادة – حينما تُوزع الآباء والأنسال عشوائياً مستقلة عن بعضها فى تجربة



شكل (٤ – ٧) : ارتداد أنسال الجيل الثالث على آبائها من نباتات الجيل الثاني لصفة المقاومة لعفن الجذور الجاف (الفيوزاري) للتلقيح Redkote x 2114-12 فى الفاصوليا (عن Hassan وآخرين ١٩٧١) .

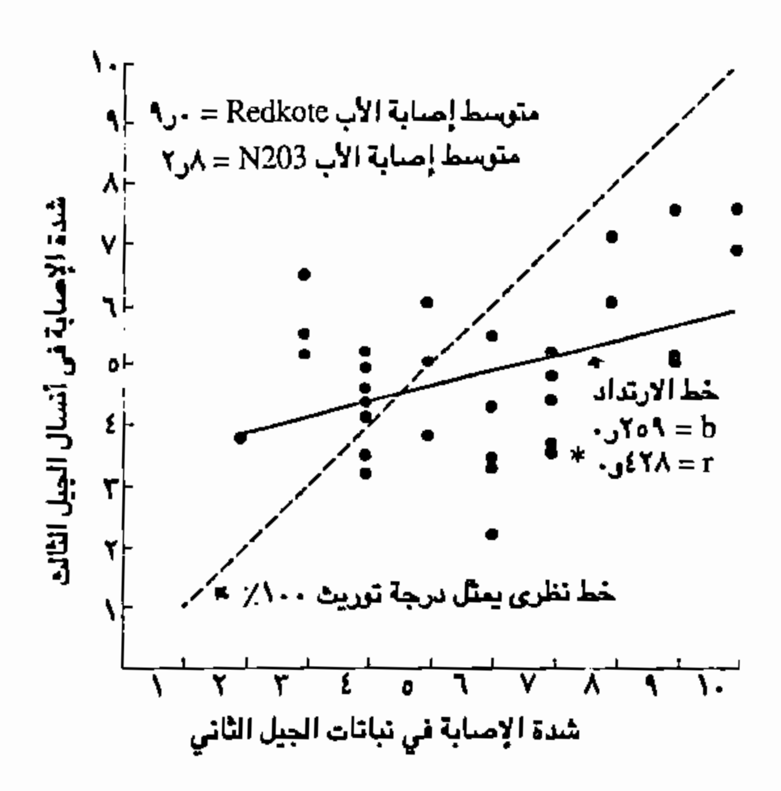
بمكررات . كما يمكن أخذ معامل تصحيح فى الاعتبار ، عندما تكون الآباء مرباة داخليا .

٣- طريقة التلقيحات الرجعية

تحسب درجة التوريث فى طريقة التلقيحات الرجعية بالمعادلة التالية (Warner ١٩٥٢) :

$$NSH = \frac{2V_{F_2} - (V_{F_2B_1} + V_{F_2B_2})}{V_{F_2}}$$

حيث يمثل (V_{F_2}) تباين الجيل الثانى للتلقيح الفردى بين أبوين (P_1) ، و (P_2) ، بينما يمثل $V_{F_2B_1}$ ، و $V_{F_2B_2}$ تباين الجيل الثانى للتلقحيات الرجعية بين نباتات الجيل



شكل (٤ – ٨) : ارتداد أنسال الجيل الثالث على آبائها من نباتات الجيل الثاني لصفة المقاومة لعفن الجذور الجاف (الفيوزارى) للتلقيح Redkote x N203 (عن Hassan وآخرين ١٩٧١) .

الأول للتلقيح الفردى السابق وكل من أبوى التلقيح (P_1) ، و (P_2) على التوالى . ويمثل البسط فى المعادلة السابقة التباين الإضافى فقط ؛ لذا .. فإن المعادلة تعد مقياساً لدرجة التوريث على النطاق الضيق .

درجة التوريث المدركة أو الواقعة

تستنبط درجة التوريث المدركة أو الواقعة Realized Heritability (تكتب اختصاراً RH) من النتائج التى يحققها الانتخاب فى جيل واحد ؛ وهى درجة توريث واقعية تأخذ فى الاعتبار ما أمكن تحقيقه بالفعل من تقدم أثناء الانتخاب ، وتحسب بإحدى المعادلتين التاليتين (Falconer ١٩٨١) :

$$RH = \frac{\bar{X}_s F_3 - \bar{X}F_3}{\bar{X}_s F_2 - \bar{X}F_2}$$

أو

$$RH = \frac{\bar{X}_{high}F_3 - \bar{X}_{low}F_3}{\bar{X}_{high}F_2 - \bar{X}_{low}F_2}$$

يعتمد حساب درجة التوريث فى المعادلة الأولى على تقديرات متوسط الصفة فى عشيرة جيل ثان ($\bar{X}F_2$) لتلقيح فردى ، وفى مجموعة من النباتات المنتخبة منه ($\bar{X}_s F_2$) ، وفى الجيل الثالث عامة ($\bar{X}F_3$) ، وفى نسل النباتات المنتجة من الجيل الثانى ($\bar{X}_s F_3$) . وقد تجرى الحسابات على أساس نباتات فردية، أو لوطات مكررة لمختلف العشائر الداخلة فى حساب درجة التوريث ،أو على أساس المتوسط العام لكل عشيرة .

أما فى المعادلة الثانية .. فإن حساب درجة التوريث يعتمد على تقديرات متوسط الصفة فى أعلى ($\bar{X}_{high} F_2$) ، وأقل ($\bar{X}_{low} F_2$) مجموعة من نباتات الجيل الثانى فى الصفة، ومتوسط الصفة فى كل من فئتى النباتات المنتخبة فى الجيل الثالث ($\bar{X}_{high} F_3$) للفئة العالية فى الصفة ، و ($\bar{X}_{low} F_3$) للفئة المنخفضة فى الصفة .

يعاب على درجة التوريث هذه أنها ربما لاتمثل درجة التوريث الحقيقية ، بسبب احتمالات وجود تأثير منتظم للبيئة فى التراكيب الوراثية فى العشيرة ، أو حدوث تدهور فى قوة النمو مع التربية الداخلية .

العوامل المؤثرة على دقة تقديرات درجة التوريث

تختلف درجة التوريث باختلاف الطريقة المتبعة فى تقديرها ، كما تتأثر دقة التقدير فى كل طريقة بثلاثة عوامل ، هى كما يلى (عن Fehr ١٩٨٧) :

١- الاحتياطات التى يتخذها المربى لتقليل الخطأ التجريبى experimentall error إلى أدنى مستوى ممكن ، حيث تزيد دقة التقدير كلما انخفض الخطأ التجريبى .

٢- عـدد المواقع locations ، والسنوات years التى يجرى فيها اختبار درجة التوريث ، عندما يكون الاختبار على أسـاس متوسط المداخل (العشـائر الوراثية) entry-mean basis حيث يتأثر التقدير بعدد النباتات فى كل مكررة ، وعدد المكررات ، وعدد المواقع ، وعدد سنوات تقييم التركيب الوراثى ؛ فيؤدى الإخفاق فى تقدير تباينات : تفاعل التركيب الوراثى × الموقع (V_{gl}) ، والتركيب الوراثى × السنة (V_{gy}) ، والتراكيب الوراثى × الموقع × السنة (V_{gly}) إلى ظهور زيادة غير حقيقة فى تقدير درجة التوريث . ولايمكن فصل التباين الوراثى (V_G) عن تباينات التفاعل الثلاثة ، إلا إذا قُيِّمَتَ التراكيب الوراثية فى موقعين ، وعلى مدى سنتين كحد أدنى ؛ وبخلاف ذلك .. فإن البسط فى معادلة حساب درجة التوريث .. سوف يحتوى على ما يلى :

(أ) V_G ، و V_{gl} فى حالة إجراء التقييم فى موقع واحد على مدى سنتين أو أكثر .

(ب) V_G ، و V_{gy} فى حالة إجراء التقييم فى موقعين أو أكثر فى موسم زراعى واحد .

(جـ) V_G ، و V_{gl} ، و V_{gy} ، و V_{gly} فى حالة إجراء التقييم فى موقع واحد ، ولموسم زراعى واحد .

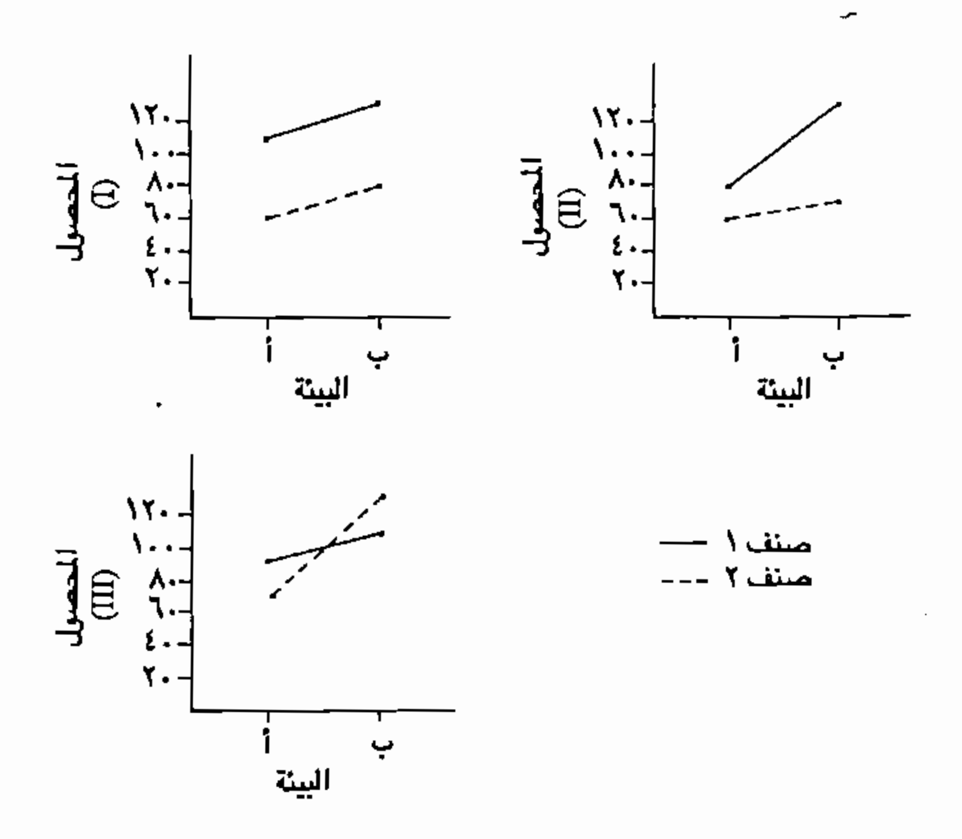
٣- عدم التوازن بين حالتى الارتباط التزاوجى (AB/ ab) ، والتنافرى (Ab / aB) ، وهو مايعرف باسم linkage disequilibrium ، الذى يحدث عندما لاتكون حالتا الارتباط بنفس النسبة فى العشيرة . وتؤدى الزيادة الكبيرة - فى حالة الارتباط التزاوجى - إلى ظهور زيادة غير حقيقية فى تقديرات تباينى الإضافة والسيادة ، بينما تؤدى الزيادة الكبيرة فى حالة الارتباط التنافرى إلى ظهور زيادة غير حقيقية فى تباين السيادة ، ونقص

غير حقيقى فى التباين الإضافى ، ويمكن تقليل حالة عدم التوازن تلك بالتزاوج العشوائى لأفراد العشيرة ، ويتوقف عدد الأجيال للوصول إلى التوازن على قوة الارتباط .

التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة

تشمل البيئة جميع العوامل الجوية والأرضية بالإضافة إلى العمليات الزراعية المتبعة ، وهى تؤثر – منفردة ، ومجتمعة – فى أداء التراكيب الوراثية كما سبق أن أوضحنا ، ويحدث التفاعل بين التراكيب والبيئة حينما يختلف الأداء النسبى للتراكيب الوراثية المختلفة فى البيئات المختلفة . وبينما يمكن التنبؤ ببعض مكونات البيئة (مثل نوع التربة وموعد الزراعة ، وكثافة الزراعة) .. فإن بعض المكونات الأخرى لايمكن التنبؤ بها مثل موقع الزراعة وسنة الزراعة ، ويعطى كل منها تفاعلاً خاصاً به مع التركيب الوراثى ؛ مثل تفاعلات التركيب الوراثى × نوع التربة ، والتركيب الوراثى × موعد الزراعة ، والتركيب الوراثى × كثافة الزراعة ، والتركيب الوراثى × الموقع ، والتركيب الوراثى × السنة ، والتركيب الوراثى × الموقع × السنة .

ويبيِّن شكل (٤ – ٩) ثلاثة طرز لكيفية تأثر أداء التراكيب الوراثية بالتغير فى العوامل البيئية . نجد فى الحالة الأولى (I) أن أداء (محصول) كلا الصنفين أعلى فى البيئة (ب) عما فى البيئة (أ) ، ولايوجد أى تفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة لأن الصنف الأعلى محصولا (١) ظل متفوقا على الصنف الآخر(٢) بمقدار٢٠ وحدة فى كلتا البيئتين . أما الحالتان الأخريان .. فيظهر فيهما تفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة ؛ لاختلاف التأثر النسبى لمحصول الصنفين فى البيئتين ؛ فنجد فى الحالة (II) أن محصول كلا الصنفين أعلى فى البيئة (ب) مما فى البيئة (أ) ، ورغم أن الزيادة فى محصول الصنف (١) كان أكبر بكثير مما فى الصنف (٢) .. إلا أن الوضع النسبى للصنفين بقى كما هو ، ويتشابه الوضع فى الحالة (II) مع الحالتين الأخريين فى أن محصول الصنفيين أعلى فى البيئة (ب) مما فى البيئة (أ) ، إلا أن الزيادة فى محصول الصنف (٢) كانت أعلى بكثير مما فى الصنف (١) ؛ مما أدى إلى اختلاف الوضع النسبى لأداء (محصول) الصنفين ، بحيث أصبح الصنف (٢) أعلى محصولاً من الصنف (١) فى البيئة (ب) ، بعد أن كان أقل منه محصولاً فى البيئة (أ) (Allard & Bradshaw ١٩٦٤ ، Fehr ١٩٨٧) .



شكل (٤ – ٩) : حالات التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة . راجع المتن للتفاصيل (عن Fehr ١٩٨٧) .

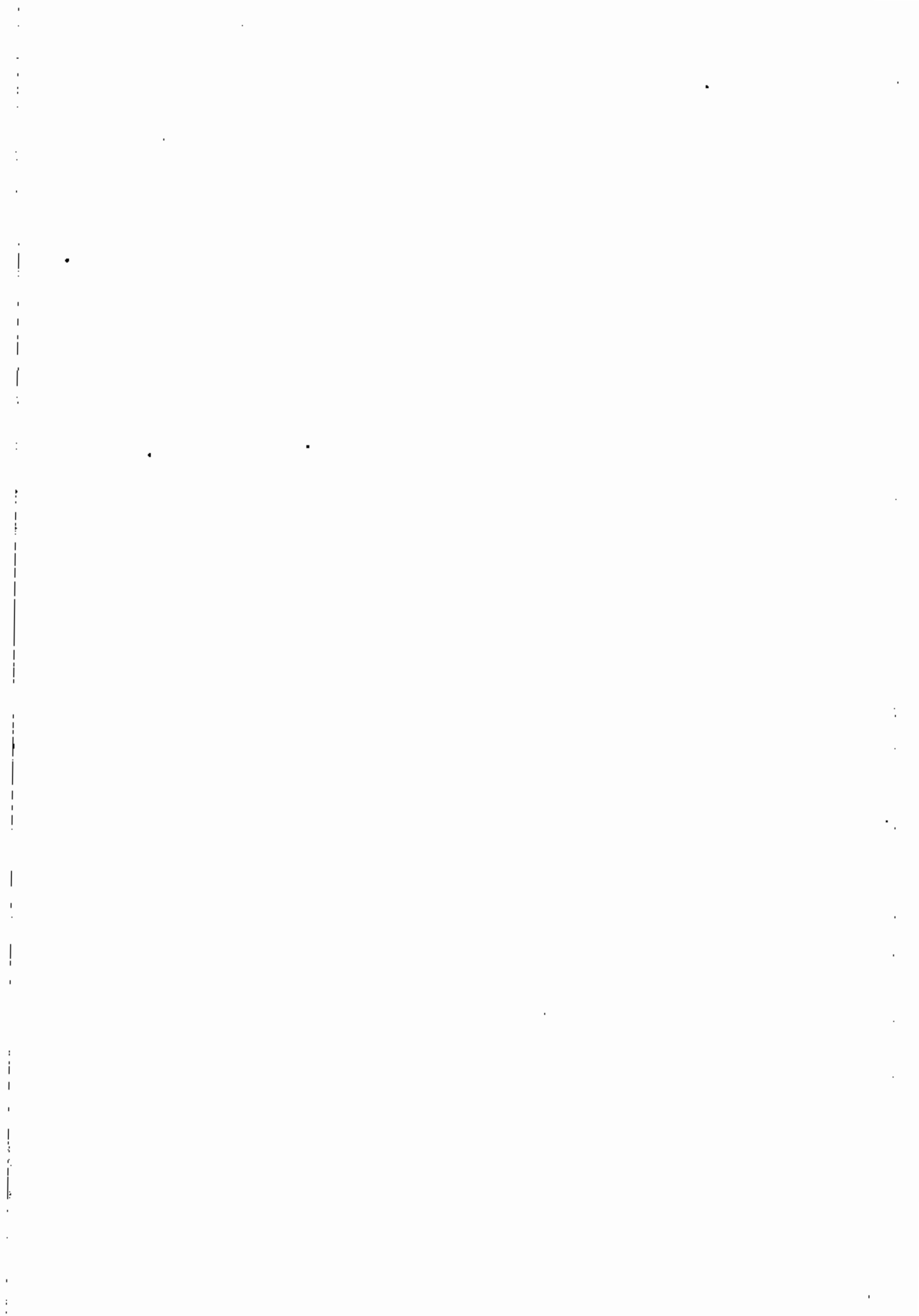
ويفيد تفهم الأنواع المختلفة – من تفاعلات مكونات البيئة مع التركيب الوراثى – فى إنتاج أصناف خاصة من المحاصيل الزراعية ، تصلح لبيئات معينة ، أو للزراعة فى أراض معينة ، أو بكثافة معينة ، أو فى مواسم معينة ... إلخ . كما يفيد المربى فى إجراء الاختبارات على الأصناف الجديدة ؛ بحيث يمكن قصرها على مكونات البيئة التى تتفاعل مع التركيب الوراثى . هذا .. وكلما قلت التفاعلات بين التركيب الوراثى ومكونات البيئة كان ذلك دليلاً على أن التركيب الوراثى (الصنف الجديد) أكثر تأقلماً على الظروف البيئية، ويتوقع أن يبقى أداؤه (محصوله) ثابتاً باختلاف الظروف .

ويتطلب اختبار جوهرية الأنواع المختلفة من التفاعلات إجراء التجارب الحقلية بالتصميم المناسب فى موقعين على الأقل ، على مدى سنتين على الأقل ، مع وجود

مكررتين على الأقل فى كل تجربة . وكلما زاد عدد المكررات .. أمكن الحصول على تقدير أفضل للخطأ التجريبى ، بينما تؤدى زيادة مواقع الدراسة أو سنوات إجرائها إلى زيادة فرصة تمثيل مختلف العوامل البيئية . ويمكن الرجوع إلى أحد مراجع الإحصاء ؛ مثل Steel & Torrie (١٩٦٠) ، و Snedecor & Cochron (١٩٦٧) للاطلاع على تفاصيل طرق إجراء وتحليل هذه النوعية من الدراسات . هذا .. ويفصل Fehr (١٩٨٧) معنى النتائج التى يمكن الحصول عليها من هذه الدراسات ، وأهميتها العملية لكل من المربى ومنتجى المحصول .

مصادر إضافية

إن الوراثة الكمية ، أو الوراثة الإحصائية (أو الرياضية) ، أو البيولوجيا الإحصائية ووراثة العشائر لهى بحر عميق ، لم نغادر على مدى هذا الفصل شطآنه ، وبينما قد يفى ما قدمناه باحتياجات غير المتخصص إلا أن المتخصص يلزمه التعمق فى مصادر أخرى ، مثل Li (١٩٥٥) ، و Hansen & Robinson (١٩٦٣) ، و Mather & Jinks (١٩٧١) ، و Singh & Chaudhary (١٩٧٩) ، و Falconer (١٩٨١) ، و Wricke & Weber (١٩٨٦) كما توجد مصادر أقل تعمقاً ، مثل Sprague (١٩٦٦ ، ١٩٦٧) ، و Edwards (١٩٧٧) . ويلزم – فى كل الحالات – أن يكون القارئ الباحث ملماً بما فيه الكفاية بالقواعد الأساسية للإحصاء ، وقد سبقت الإشارة إلى عديد من مصادرها فى هذا الفصل . هذا .. ويتفق المؤلف مع كثيرين من مربى النبات ، فى الاعتقاد بأن الوراثة الكمية أو الإحصاء البيولوجى قد قطع – نظرياً – شوطاً أبعد بكثير مما وصل إليه التطبيق العملى فى مجال تربية النبات .



الفصل الخامس

جمع الجيرمبلازم تقييمه وإكثاره وحفظه

سبق أن عرفنا الجيرمبلازم germplasm في الفصل الأول بأنه : أى مصدر لصفة معينة ، أو لمجموعة من الصفات الوراثية المحددة ، وقد يتسع استعمال المصطلح ليشمل عشرات الآلاف من السلالات والأصناف المعروفة من محصول معين . ويعدُ حصر جيرمبلازم الأنواع النباتية من المناطق الجغرافية التى تكثر فيها الاختلافات الوراثية ، وتقييمه ، وإكثاره ، وتوثيقه ، وتوزيعه على المهتمين به ، وحفظه من أولى المهام التى يوليها المربى عنايته ؛ لما لذلك من أهمية كبيرة فى توفير ذخيرة الاختلافات الوراثية التى نشأت على مر العصور ؛ للاستفادة بها فى برامج التربية ، والحفاظ عليها من الاندثار ؛ وتتطلب عملية جمع الجيرمبلازم أن يكون المربى ملماً بتطور المحاصيل المزروعة والأنواع النباتية القريبة منها ، وبمناطق النشوء والارتقاء وتنوع الصفات ، وهى أمور تعد بمثابة المدخل الطبيعى لهذا الفصل .

تطور الأنواع النباتية ومناطق النشوء والارتقاء

لم يبدأ الإنسان فى ممارسة مهنة الزراعة إلا منذ نحو ١٠ آلاف سنة أو أقل من ذلك ، وهى فترة قصيرة للغاية فى حساب التطور ، وإنه ليفترض الآن أن الزراعة لم تبدأ مرة واحدة بل بدأت عدة مرات فى مواقع مختلفة ، وربما حدث ذلك فى وقت واحد ، وربما كانت بداية الزراعة فى أرض الرافديْن (دجلة والفرات) ، كما يعتقد أن البدايات المبكرة

للزراعة كانت - أيضاً - في كل من شمال الصين ، وأمريكا الوسطى ، وفى مناطق جبال الإنديز بأمريكا الجنوبية ، وهي المناطق التى شهدت بداية استقرار الإنسان وممارسته لمهنة الزراعة ، وعلى امتداد تاريخ الإنسان مع الزراعة ، لم يستعمل في غذائه سوى نحو ٣٠٠٠ نوع من بين حوالي ٢٠٠٠٠٠ نوع معروف ، ولم يستأنس منها في الزراعة سوى نحو ٢٠٠ نوع كمحاصيل زراعية ، ولم يعتمد - على نطاق واسع - في غذائه سوى على ١٥- ٢٠ نوعاً فقط .

الصفات المميزة للنباتات المزروعة

إن النباتات التى زرعها الإنسان منذ آلاف السنين (مثل ، القمح ، والذرة ، والبطاطس) لتختلف كثيراً - مورفولوجياً وفسيولوجياً - عن الأنواع البرية التى يعتقد أنها قد نشأت منها . ويتبين - لدى مقارنة المحاصيل الزراعية التى توجد الآن بين أيدينا بالطرز البرية التى نشأت منها - وجود تغيرات معينة ، أحدثتها عملية الاستئناس عبر العصور ؛ بحيث أصبحت الأنواع المزروعة تشترك - معاً - في صفات عامة مميزة ، نذكر منها مايلى (عن Hawkes ١٩٨٣) .

١- ضعف القدرة على منافسة الأنواع الأخرى :

تجدر الإشارة - في هذا المقام - إلى أن هذا الضعف في القدرة على منافسة الانواع الأخرى ليس مقصوراً على المحاصيل الزراعية فقط ، بل يشمل - كذلك - أسلافها التى نشأت منها ، بينما تتميز الأنواع البرية بالقدرة القوية على المنافسة - تحت الظروف الطبيعية - بحيث يمكنها الانتشار السريع ، وسيادة الأنواع الأخرى التى توجد معها في نفس المنطقة ، بدرجة أكبر بكثير من الطرز الزراعية التى تطورت إليها ؛ لذا .. فإن محاصيلنا الزراعية قد فقدت كل - أو معظم - قدرتها على النمو والبقاء - تحت الظروف الطبيعية دون تدخل الإنسان . وتعد جميع الأنواع المزروعة وأسلافها غير القادرة على المنافسة في الطبيعة بمثابة « حشائش » من الوجهة البيئية ؛ لأنها تنتشر سريعاً في غياب المنافسة ، وتختفى بالسرعة نفسها إذا ما تعرضت لمنافسة من أحد الأنواع البرية المعمرة.

٢ - التعملق Gigantism :

حدث التعملق نتيجة استمرار انتخاب الإنسان للطرز الأكبر حجما من البذور ،

والدرنات والجذور ، والأوراق ... إلخ .

٣- المدى الواسع من الاختلافات المورفولوجية :

بينما يندر وجود اختلافات مورفولوجية كبيرة بين سلالات الانواع البرية من النباتات . فإننا نجد مدى واسعاً من الاختلافات المورفولوجية في المحاصيل الزراعية ، خاصة في صفات الأجزاء النباتية التي يزرع من أجلها المحصول ، كما في درنات البطاطس ، وثمار الطماطم ، والفلفل ، والقرعيات .

٤- المدى الواسع للتأقلم الفسيولوجي .

أدى نقل الإنسان لنباتاته معه - في أثناء ترحاله - إلى تأقلمها على الظروف الجديدة التي تعرضت لها ، وهو تأقلم وراثي ، حدث من خلال عملية الإنتخاب الطبيعي ، على ما توفر من اختلافات وراثية ، حدثت بفعل الطفرات والانعزالات الوراثية .

٥- اندثار طرق الانتشار الطبيعية :

إندثرت الوسائل التي تنتشر بها البذور ، وتنتشر بها النباتات في الطبيعة ، بفعل استمرار انتخاب الإنسان للطرز التي تناسبه وهي التي يمكنه الحصول عليها قبل أن تنتشر ، وتفقد منه .

٦- اندثار وسائل الحماية الطبيعية :

استمر الإنسان على مر العصور في انتخاب الطرز التي تلبي احتياجاته ، وهو ما أدى إلى اختفاء بعض وسائل الحماية التي تميزت بها أسلافها من النباتات البرية ، تلك الحماية التي تمنع إتلاف أعضاء نباتية معينة بواسطة بعض المفترسات التي لاتسهم في انتشار هذه الأعضاء ، ومن أمثلة ذلك ما يلي :

أ- تكون ثمار القرعيات المزروعة حلوة المذاق ، بينما تحتوي الطرز البرية منها على مركبات مرة ، تجعلها غير مستساغة الطعم بالنسبة للثدييات ، ولكنها تبدو مقبولة لدى الطيور التي تسهم في انتشار بذورها .

ب- بينما انتخب الإنسان طرزاً حلوة المذاق من اليام فإن الطرز البرية ذات الجذور

السطحية تكون مرة الطعم ، إلى درجة تمنع استهلاكها بواسطة الثدييات التى تحفر فى الأرض كالجرذان ، هذا وبينما تكون الطرز ذوات الجذور المتعمقة حلوة الطعم لعدم جدوى الطعم المر بالنسبة لها ، فإن الإنسان انتخب منها طرزاً ذات جذور سطحية .

جـ - اندثرت - تماما - الأشواك التى توجد فى ثمار الاصناف المزروعة من التفاح ، والكمثرى ، والبرقوق ، والموالح ، والباذنجان ، وهى التى تتوفر بكثرة كوسائل دفاعية فى الطرز البرية من هذه الأنواع .

٧- ضعف الخصوبة فى المحاصيل التى تكثر خضرياً :

تنتشر ظاهرة العقم فى المحاصيل التى تكثر خضريا ، وربما يرجع ذلك إلى أن الإنسان دأب - عبر تاريخه مع الزراعة - على انتخاب الطفرات ذات الأعضاء النباتية الأكبر حجماً والأقوى نمواً ، والتى يوجه إليها الغذاء المجهز ، مما أدى إلى ضعف خصوبتها . كما تظهر بعديد من هذه المحاصيل درجات عالية من التضاعف ، وتوجد بها - أحياناً - كروموسومات زائدة أو ناقصة عن الهيئة الكروموسومية الكاملة ؛ كما فى اليام ، وقصب السكر ، مما يساعد على استمرار العقم ؛ وما كانت هذه الاختلافات الكروموسومية لتبقى لو أن هذه المحاصيل كانت تكثر جنسياً .

٨- تغير طبيعة النمو :

تختلف النباتات المزروعة عن اسلافها البرية فى طبيعة النمو ؛ حيث تتميز الأخيرة بالسيقان الطويلة ، والنمو غير المحدود ، وطبيعة النمو المعمرة ، بينما انتخب الإنسان ما يلائم احتياجاته ؛ فكانت النباتات التى اختارها قصيرة ومحدودة النمو ، وحولية .

٩- إنبات البذور السريع المتجانس :

بينما عملت الطبيعة على إكثار وانتشار الطرز التى يكون إنبات بذورها بطيئاً وغير متجانس - وهى التى لاتتعرض للاندثار إذا ما عصفت بها ظروف بيئية قاسية - فإن الإنسان انتخب ما لاءمه من طرز ذات إنبات سريع ومتجانس ؛ لكى تسهل زراعتها .

١٠- التغير من التلقيح الخلطى إلى التلقيح الذاتى :

يلاحظ أن الآباء البرية للمحاصيل الزراعية الذاتية التلقيح (كالقمح ، والطماطم) تكثر

بهـا ظاهرة التلقيح الخلطى، وقد كـان التـغـيـر من التلقيح الخلطى إلى التلقـيح الذاتى مـصاحـبـاً بالتـجـانس فى الطرز الذاتية التلقيح ، مكان الاخـتـلافات فى الطرز الخلطيـة التلقيح .

مـوطن المحـاصـيـل الزراعيـة ، ومنـاطق النـشـوء والارتـقـاء ، والاختـلافات

اعتقد Decandolle أن بالإمكان التعرف على مكان بداية استئناس المحصول وزراعته من أماكن نموه بريًا ، ولكن يصعب فى كثير من الأحيان معرفة ما إذا كانت النباتات النامية بريًا هى بريّة حقيقة ، أم أنها فلتات مما كان يزرع فى المنطقة ذاتها. ولايمكن – أحيانا – تحديد موطن المحصول إطلاقاً ؛ كما فى الفول الذى لم يعرف له أية اسلاف برية ، كما لم يُفِدْ التعرف على مناطق النمو البرى للأسلاف فى بعض الحالات كما فى الطماطم ، فبينما يكثر نمو الانواع البرية منها فى بيرو .فإن الاعتقاد السائد عن موطنها أنه فى المكسيك .

وقد تبين – بالدراسة الحديثة لبعض الأنواع – أن ما كان يعتقد أنها الأسلاف البرية للمحـصـول لاتربطها به صلة قرابة ، ومن أمـثلة ذلك .. البطاطس التى كـان يعـتـقـد أن اسلافها هى الطرز البرية التى تنمو فى شيلى ، وأورجـواى ، والمكسـيك ، ثم ظهر أنـها أنواع أخـرى تبـعـد – تقـسـيـمـيًا – عن البطاطس المزروعـة ، وتخـتلف عنـهـا فى عـدد الكرومـوسومـات . وتوجـد حالات انتـشـر فيـها النوع – بريًا – فى مناطق نقل إليها من موطنه الأصلى .

هذا .. وبينما يمكن الإعتمـاد على الأدلة المستمدة من الحفريات فى تحـديد مـوطن المحصول .. فإن الأدلة التاريخية لا قيمة لها فى كثير من الأحيان لأن استئناس المحاصيل الزراعية الرئيسية حدث قبل التاريخ المكتوب بآلاف السنوات .

إسهامات فافيلوف N. I . Vavilov فى تحديد مناطق نشوء النباتات :

عاش عالم النبات الروسى N . I . Vavilov فى الفتـرة من ١٨٨٧ إلى ١٩٤١ ، وقد بدأ دراسته ؛ بهدف تربية أصناف جديدة من المحاصيل الزراعية تناسب الظروف البيئية

الشديدة التباين فى الاتحاد السوفيتى ، وقد شعر فافيلوف بأن تحقيق هذا الهدف يستلزم استكشاف الاختلافات الوراثية بين النباتات المزروعة والطرز البرية القريبة منها فى جميع انحاء العالم ، وقد قام فافيلوف برحلاته خلال العشرينيات والثلاثينيات من هذا القرن ، وسجل خلالها ملاحظات مستفيضة عن الظروف البيئية ، والطبيعية الجغرافية السائدة والطرق الزراعية المستعملة فى المناطق التى جمع منها العينات النباتية. وقد استشرق فافيلوف بذلك آفاقا جديدة فى مجال تربية النبات ، لم يكن أحد يفكر فيها من قبل ، ألا وهى الاستعانة بالجيرمبلازم ، الذى يمكن الحصول عليه من أى مكان فى العالم فى برامج التربية ، لنقل الصفات الهامة - التى يمكن أن توجد فيه - إلى الأصناف الجديدة المحسنة .

نقل فافيلوف ورفاقه - أثناء رحلاتهم - آلاف العينات النباتية الحية إلى معهدهم العلمى Institute of Plant Industry فى لينتجراد ، وفى العديد من المحطات الفرعية للمعهد فى شتى أنحاء الإتحاد السوفيتى ، ثم قاموا بإجراء دراسات مورفولوجية وسيتولوجية مستفضية ، توصلوا من خلالها إلى أن الأنواع المزروعة قد تم[illegible] خلال مراحل انتشارها من مواطنها الأصلية إلى طرز تختلف عن بعضها البعض مورفولوجياً وبيئيًا .

وقد تبين لفافيلوف أنه توجد مناطق معينة من العالم ، تكثر فيها الاختلافات النباتية بشدة ، أطلق عليها اسم مراكزالاختلافات Centers of Diversity ، بينما توجد مناطق أخرى أقل من سابقتها فى هذا الشأن . وقد اعتقد فافيلوف أن المناطق التى تكثر فيها الاختلافات الوراثية لمحصول ما هى مواطنها الأصلية ، وأطلق عليها اسم مراكز النشوء . Centers of Origin وبناء على ما تقدم .. فقد قسم فافيلوف العالم إلى ثمانى مناطق ، (مراكز) للنشوء ، تضم ثلاث مناطق (مراكز) فرعية Subcenters ، اعتبرت جميعها مراكز نشوء Centers of Origin للمحاصيل التى ذكرت بها ، باستثناء ما ذكر منها كمراكز اختلافات ثانوية secondary centers of diversity بالنسبة لبعض المحاصيل ، والتى لم يعتبرها مراكز نشوء لها ، وهى كمايلى :

١- منطقة الصين :

يشمل هذا المركز المناطق الجبلية فى غرب الصين ، والسهول المجاورة لها ، وتكثر فيه

الاختلافات الوراثية للشوفان وفول الصويا ، وفاصوليا أدزوكى ، والبرقوق ، والخوخ ، والبرتقال ، واعتبرت هذه المنطقة بمثابة مركز ثانوى ، كذلك للفاصوليا العادية ، والمسترد الورقى ، والسمسم .

٢- منطقة جنوب شرق أسيا :

يشمل هذا المركز كلاً من بورما ، وآسام ، وتكثر فيه الاختلافات النباتية للأرز ، والدخن الأفريقى ، والحمص ، وفاصوليا موث ، وفاصوليا الأرز ، واللوبيا الهليونية ، والباذنجان والقلقاس، والخيار ، وشجرة القطن ، والملوخية ، والفلفل الأسود .

٢ أ- منطقة الهندو - ملايو :

وجدت فى هذه المنطقة اختلافات كثيرة لليام والموز وجوز الهند .

٣- منطقة وسط أسيا :

يضم هذا المركز مناطق شمال غرب الهند وأفغانستان ، وبعض الولايات السوفيتية المتاخمة (تدجيكستان وأزبكستان) ، وتكثر فيه الاختلافات النباتية للقمح ، والشليم ، والبسلة ، والعدس ، والحمص ، والسمسم ، والكتان ، والقرطم ، والجزر ، والفجل والكمثرى ، والتفاح ، والجوز .

٤- منطقة الشرق الأدنى :

يشمل هذا المركز الجزء الاسيوى من تركيا ، والقوقاز ، وإيران ، والمناطق الجبلية من تركستان ، وتوجد به وفرة من الاختلافات الوراثية لأنواع القمح المحتوية على ٧ أزواج -أو ١٤ زوجاً - من الكروموسومات ، والشعير ، والشيلم ، والشوفان الأحمر ، والعدس ، والبسلة ، والبرسيم الحجازى ، والسمسم ، والكتان ، والقاوون ، واللوز ، والتين ، والرمان، والعنب ، والمشمش ، والفستق ، كما اعتبرت هذه المنطقة مركزاً ثانويا للحمص .

٥- منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط :

وجد فى هذا المركز اختلافات كثيرة للأقماح المحتوية على ١٤ زوجاً من الكروموسومات، والشوفان ، والفول ، والكرنب ، والزيتون ، والخس .

٦- منطقة الحبشة :

وجد في هذا المركز اختلافات كثيرة للأقماح بأنواعها المختلفة ، والشعير ، والحمص ، والعدس ، والبسلة ، والكتان ، والسمسم ، والخروع ، والبن .

٧- منطقة جنوب المكسيك وأمريكا الوسطى :

وجد بهذا المركز اختلافات كثيرة للذرة ، والفاصوليا العادية ، والفلفل ، والقطن ، والعنب ، وأنواع القرع ، والقرع العسلى ، والجورد .

٨- منطقة أمريكا الجنوبية :

يضم هذا المركز بيرو ، وإكوادور ، وبوليفيا ، وتكثر فيه الاختلافات النباتية للبطاطا والبطاطس ، وفاصوليا الليما ، والطماطم ، والقطن ، والباباظ ، والدخان .

٨ أ- منطقة شيلى :

توجد بهذا المركز اختلافات كثيرة من البطاطس .

٨ ب - منطقة البرازيل وباراجواى :

توجد بهذا المركز اختلافات كثيرة للكاسافا ، والفول السودانى ، والكاكاو ، وشجرة المطاط ، والأناناس (Vavilov ١٩٥١ صفحات : ٢٠ - ٤٦) .

وعلى الرغم من التبسيط الزائد لمفهوم فافيلوف لمراكز النشوء المبنى على كثرة الاختلافات النباتية .. إلا أنه فتح الباب على مصراعية لدراسة الموضوع بعد ذلك ، كما خدم علم تربية النبات خدمة جليلة بتوجيه الأنظار ، نحو مناطق العالم التى تكثر فيها الاختلافات ، والتى جمعت منها بالفعل عشرات الآلاف من السلالات من شتى أنواع النباتات الاقتصادية .

لقد توصل فافيلوف من دراساته إلى ما أسماه بقانون السلسلة المتناظرة Low of Homologus Series ، الذى ينص على أنه يمكن العثور على اختلافات نباتية متشابهة فى أنواع نباتية مختلفة فى منطقة جغرافية واحدة ، فإذا وجدت صفة معينة فى محصول

ما .. فمن المتوقع العثور على صفات مماثلة فى الأنواع الأخرى القريبة منها ، والتى تنمو معها فى المنطقة ذاتها ، وهو أمر يبدو منطقياً من الناحية البيولوجية - على الأقل - بالنسبة لمقاومة الآفات .

ولقد ثبتت صحة هذا القانون بعد ذلك ؛ فمثلاً .. وُجِدَ فى المكسيك تشابه بين عدة أنواع من جنس البطاطس *Solanum* من حيث احتوائها على عدة طرز من المقاومة للندوة المتأخرة ، كما وجدت المقاومة لعدة سلالات من النيماتودا المتحوصلة فى أنواع كثيرة من جنس البطاطس فى جبال الأنديز الوسطى فى بيرو ، وبوليفيا وشمال غرب الأرجنتين .

ولقد ميز فافيلوف بين المحاصيل الأولية Primary Crops ، والثانوية Secondary Crops ؛ على اعتبار أن المحاصيل الأولية هى المحاصيل المزروعة منذ القدم (مثل القمح ، والشعير ، والأرز ، وفول الصويا ، والكتان ، والقطن) ، وأن الثانوية تضم المحاصيل التى بدأت كحشائش مصاحبة للمحاصيل المزروعة ، ثم أصبحت من المحاصيل المزروعة فى وقت لاحق ، بعد أن تأقلمت على نمو المحاصيل الأولية ، وحاكتها فى عدد من الصفات الفسيولوجية ، والمورفولوجية من خلال عمليات الانتخاب غير الواعية التى قام بها الإنسان . ويمكن أن نذكر فى هذا الشأن الأمثلة التالية :

١- نشأ الشليم كمحصول ثانوى - كان مصاحباً كحشيشة للقمح - كمحصول أولى فى جنوب غرب أسيا .

٢- نشأ الشوفان كمحصول ثانوى - كان مصاحباً كحشيشة للشعير - كمحصول أولى فى أوروبا ، وغرب أسيا .

٣- نشأ الفول والبسلة كمحصولين ثانويين - كانا مصاحبين كحشائش للحبوب الصغيرة - كمحاصيل أولية فى جنوب غرب آسيا . ويرجع إلى فافيلوف الفضل فى الربط بين المحاصيل المزروعة وأسلافها من الحشائش ؛ ولذلك أهميته التطبيقية إلى جانب قيمته النظرية ؛ فهذه الحشائش تذخر بالطفرات الهامة وتُلَقَّح طبيعياً - أحياناً - مع المحاصيل التى نشأت منها ، كما يستخدمها مربو النبات كمصدر لعديد من الصفات الهامة فى برامج التربية .

وقد حاول فافيلوف كذلك أن يميز بين مراكز الاختلافات الأولية Primary Centers

of Diversity والتى اعتبرها مراكز النشوء ، ومراكز الاختلافات الثانوية Secondary Centers of Diversity ، والتى لم يعتبرها مراكز للنشوء . وقد أخطأ فافيلوف - مع ذلك - فى الحكم على المراكز الأولية والثانوية لبعض المحاصيل ، كما لم يأخذ فى الحسبان أهمية المناطق التى تكثر فيها الاختلافات من الأنواع البرية القريبة من المحاصيل الزراعية ، التى يمكن اعتبارها بمثابة مناطق النشوء لهذه المحاصيل . وقد أصبح من المؤكد لدى الكثيرين من المهتمين بهذا الموضوع أن مناطق الاختلافات التى ذكرها فافيلوف ليست مناطق النشوء لجميع الأنواع التى ذكرت بها ، وإن كان كذلك بالنسبة للبعض منها فقط ، ولاشك فى أن اختلاف الظروف فى المناطق المختلفة كان له دور جوهرى فى التأثير على مدى تباين الصفات فى المحصول ذاته ؛ فحتى لو تساوى معدل حدوث الطفرات فى هذه المناطق .. فإن تباين الظروف يحدد شدة الانتخاب الطبيعى الذى تؤدى حدته إلى نقص الاختلافات المشاهدة خلال فترة زمنية محدودة ، مقارنة بما يمكن أن يظهر من اختلافات خلال الفترة نفسها وفى منطقة أخرى تقل فيها حدة الإنتخاب (عن Hawkes ١٩٨٣) .

محاولات الآخرين لتحديد مراكز النشوء :

اقترح شوكوفسكى Zhukovsky - وهو أحد الذين عملوا مع فافيلوف - سلسلة من ١٢ مركزاً كبيراً megacenters للنشوء شملت معظم أنحاء العالم ؛ حيث لم يترك سوى كندا ، والبرازيل ، وجنوب الأرجنتين ، وشمال سيبيريا ، والنرويج ، وإنجلترا ، كما اقترح شوكوفسكى - كذلك - مراكز صغيرة microcenters للأنواع البرية التى اعتبرها قريبة وراثيًا من الأنواع المزروعة ، ويفيد التقسيم الذى اقترحه شوكوفسكى فى توضيح الفارق الكبير بين الانتشار المحدود للأنواع البرية ، والانتشار الواسع للأنواع المزروعة التى نقلها الإنسان معه من مكان إلى آخر ، ويميز شوكوفسكى بين المراكز الصغيرة الأولية primary gene microcenters وهى المناطق الصغيرة المحدودة التى نشأ فيها المحصول - والمراكز الثانوية الكبيرة secondary gene megacenters التى انتشرت فيها زراعة المحصول ، وهو يحاول بذلك تجنب منتقدى فافيلوف ، الذين اعتبرو أن مراكز النشوء التى ذكرها ليست مراكز على الإطلاق ، وإنما هى مناطق شاسعة انتشرت فيها زراعة محاصيل معينة .

كما استعمل هارلان Harlan مصطلح المراكز الصغيرة microcenters كذلك ، ولكن بمعنى مختلف عما استعمله شوكوفسكى ؛ حيث عنى به المناطق الصغيرة جداً ، الغنية بالاختلافات النباتية ضمن المناطق الكبيرة التى ذكرها فافيلوف . ويحدث التطور فى هذه المناطق الصغيرة بسرعة أكبر مما فى المناطق المجاورة .

ولقد فطن هوكس Hawkes إلى السبب الحقيقى وراء البلبلة التى أحدثتها التقسيمات السابقة لمناطق النشوء ألا وهو الخلط بين مراكز النشوء الحقيقة للمحصول ، والمناطق (أو المراكز) التى تطور فيها المحصول ، وكثرت فيها اختلافاته الوراثية غير تلك التى بدأت فيها زراعة المحصول ، واقترح لذلك نظاماً بديلاً قسم فيه العالم إلى أربعة مراكز نواة ، تضم عشر مناطق للاختلافات كما تحتوى – فيما بينها – على ثمانية مراكز ثانوية على النحو المبين أدناه .

تقسيم هوكس لمراكز النشوء :

قسم هوكس العالم إلى أربعة مراكز نواة Nuclear Centers (جدول ٥ -١) ، وهى المناطق التى يعتقد أن الزراعة قد بدأت فيها ، تضم كل نواة منطقة أو عدة مناطق للاختلافات Regions of diversity . وقد استعمل هوكس مصطلح « منطقة » بدلاً من مصطلح "مركز" ؛ لأنه يعد أدق ؛ باعتبار المساحة الكبيرة للمنطقة الجغرافية الممتدة المعنية بالمصطلح . وقد انتشرت زراعة المحاصيل الزراعية فى هذه المناطق ، بعد أن امتدت إليها من مناطق نشوئها ، كما نشأت فيها – كذلك – محاصيل أخرى من أسلافها من «الحشائش» التى كانت مصاحبة للمحاصيل المزروعة ، سواء أكانت نشأتها بالانتخاب الواعى ، أم بالانتخاب غير الواعى . ولاتختلف هذه المناطق فى مجملها عن مراكز الاختلافات التى ذكرها فافيلوف . وبالإضافة إلى ذلك .. فقد ضمّن هوكس كل منطقة للاختلافات مركزاً أو عدة مراكز ثانوية Minor Centers ، اعتبرها مراكز حديثة ؛ وتعمد ألاّ يطلق عليها اسم microcenters حتى لاتختلط مع مفهوم هذا المصطلح فى تقسيمى شوكوفسكى وهارلان . وهى مناطق لم ينشأ فيها سوى محصول واحد أو محاصيل معدودة . ومن المراكز الثانوية المذكورة فى جدول (٥ – ١) .. تعد اليابان موطناً للوبيا ، وغينيا الجديدة موطناً لقصب السكر ، وأوروبا موطناً للشليم ، والولايات المتحدة موطناً للطرطوفة .

جدول (٥-١) : تقسيم هوكس Hawkes لمراكز النواة nuclear centers (المناطق التى بدأت فيها الزراعة) ، ومناطق الاختلافات regions of diversity (المناطق التى امتدت إليها الزراعة وتكثر فيها الاختلافات) ، وما تضمه من مراكز ثانوية outlying minor centers (امتدت إليها الزراعة حديثًا ونشأت فيها محاصيل قليلة) .

مراكز النواة	مناطق الاختلافات	المراكز الثانوية
أولا : شمال الصين	١- الصين ٢- الهند ٣- جنوب شرق آسيا	أ- اليابان ب- غينيا الجديدة جـ- جزر سليمان - جزر فيجى - جزر جنوب المحيط الهادى
ثانيا : الشرق الأدنى	٤- وسط آسيا ٥- الشرق الأدنى ٦- حوض البحر الأبيض المتوسط ٧- الحبشة ٨- غرب أفريقيا	د- شمال غرب أوروبا
ثالثا :جنوب المكسيك	٩- أمريكا الوسطى	هـ- الولايات المتحدة - كندا و- مناطق البحر الكاريبى
رابعاً : وسط إلى جنوب بيرو	١٠- شمال جبال الأنديز (من فنزويلا إلى بوليفيا)	ز- جنوب شيلى ح- البرازيل

موطن بعض النباتات الاقتصادية :

يلخص Merrell(١٩٧٥) مواطن النباتات الاقتصادية المهمة فى اثنتى عشرة منطقة كما يلى (يذكر المحصول الواحد أحيانا فى أكثر من منطقة ، ويعنى بذلك .. نشأة أنواع نباتية مختلفة من هذا المحصول فى مختلف المناطق) :

١- وسط آسيا :

نشأ فى وسط آسيا التفاح ، والجوز ، والقنب ، والدخن ، والدخن الإيطالى ،

والمسترد ، والكمثرى ، والروبارب .

٢- الصين :

نشــــأ فى الصــين المشمـــش ، وفـول الصـويا ، والحنطة السـوداء ، والعنّاب ، والدخن اليـاباني ، والتـوت ، والشـوفـان naked oats ، والبـرتقـال ، والخــوخ ، والبرســيمون persimmon ، والفجل ، والشاى ، واللفت .

٣- الهند وبورما :

نشـأ فى منطقـة الهند وبورمـا فـاصـوليا منج ، وبسلة تشك؛ ، والقـرفـة ، واللوبيـا ، والخيـار ، والباذنجان ، والنيلة ، والجوت ، والمانجو ، والفلفل ، وبسلة بيجون ، والأرز ، والقلقاس .

٤- جنوب شرق آسيا :

نشـأ فى هذه المنطقـة الخيـزران ، والموز ، وشـجـرة الخبـز ، والقـرفـة ، وجوز الهند ، والقطن ، والزنجبيل ، والليمون البنزهير ، والليمون الاضـاليا ، وجوزة الطيب ، ولسـان الحمل ، وقصب السكر ، واليوسفى ، واليام .

٥- جنوب غرب آسيا :

نشـأ فى هذه المنطقـة اللوز ، والشـعيـر ، والجـزر ، والكريز ، ونخـيل البلح ، والتـين ، والكتان ، والعنب ، والعدس ، والعرقسوس ، والقاوون ، والخشخاش ، والبسلة ، والرمان ، والبرقوق ، والسفرجل ، والسبانخ ، والقمح .

٦- الحبشة :

تعد الحبشة موطناً لكل من : الخروع ، والبن ، والقطن ، والكولا ، والباميا .

٧- وسط أفريقيا :

نشأ فى منطقة وسط أفريقيا الدخن اللؤلؤى ، والسمسم ، والذرة الرفيعة (السرغوم) ، والبطيخ .

٨- أوروبا :

نشأ فى أوروبا البلاكبرى ، والكشمش currant ، وعنب الثعلب goosberry ، وفجل الحصان ، والشوفان ، وبنجر السكر .

٩- حوض البحر الأبيض المتوسط :

نشأ فى هذه المنطقة الخرشوف ، والهليون ، والفول ، والبروكولى ، وكرنب بروكسل ، والكرنب ، والقنبيط ، والكرفس ، والكستناء ، والهندباء ، والثوم ، وحشيشة الدينار (الجُنجُل) ، وكرنب أبو ركبة ، والخس ، والشوفان hulled oats ، والزيتون ، والبصل ، والبقدونس ، والسلق السويسرى .

١٠- أمريكا الوسطى :

نشأ فى هذه المنطقة الأفوكادو ، والفاصوليا العادية ، والفاصوليا المدادة ، والقطن ، والجورد ، والجريب فروت ، والذرة ، والفلفل ، والقرع العسلى ، وقنب السيزال ، والكوسة ، والبطاطا ، والفانيليا .

١١- أمريكا الشمالية :

نشأ فى هذه المنطقة البلوبرى ، والكرانبرى ، والطرطوفة ، والبيكان ، والراسبرى ، والشليك ، وعباد الشمس .

١٢- أمريكا الجنوبية :

نشا فى أمريكا الجنوبية فاصوليا جاك ، وفاصوليا الليما ، والبلاذر Cashew ، والكاسافا ، والكاكاو . والقطن ، والجوافة ، والباباظ ، والفول السودانى ، والأناناس ، والبطاطس ، والكينين ، والمطاط ، والشليك ، والدخان ، والطماطم .

مصادر إضافية :

لمزيد من التفاصيل عن نشأة الأنواع والتطور ، والتأقلم بوجه عام .. يمكن مراجعة بعض المصادر المتخصصة ؛ مثل : Darwin (١٨٧٢) ، و Shull (١٩٥١) ، و Wallace

& Srb (١٩٦٤) ، و Ehrlich وآخرين(١٩٧٤) ، و Dobzhansky وآخرين (١٩٧٧) . أما المصادر التالية .. فهى أكثر صلة بموضوع الدراسة ، ويجد فيها القارئ تفاصيل أخرى كثيرة عن موطن وتاريخ زراعة النباتات وتوزيعها فى العالم ، وهى Vavilov (١٩٥١) ، و Wilsie (١٩٦٢) ، و Hutchinson (١٩٧٤) ، و Zeven & Zhukovsky (١٩٧٥) ، و Simmonds (١٩٧٦) ، و Hawkes (١٩٨٣) .

جمع الجيرمبلازم

حظى موضوع جمع الجيرمبلازم من المناطق التى تكثر فيها الاختلافات النباتية باهتمام كثيرين من المشتغلين بتربية النباتات ؛ لما له من أهمية كبيرة فى التربية ؛ وذلك لأن المربى فى بحث دائم عن صفات جديدة ، يمكن أن يستفيد منها فى برامج التربية ، وغالبا مايجد ضالته فى ذخيرة الجيرمبلازم العالمى للمحصول ، الذى يعمل على تحسينه .

التعرية الوراثية

يعد مصطلح التعرية الوراثية Genetic Erosion من المصطلحات الحديثة – نسبيًا – المستخدمة فى علم تربية النبات ، ويعنى به اختفاء الاختلافات الوراثية ، التى كانت تنمو بصورة طبيعية ، وتوجد بكثرة فى مراكز الاختلافات Centers of Diversity التى ذكرها فافيلوف وغيره . وقد بدأ القلق يساور مربى النبات حول اختفاء الاختلافات الوراثية فى بداية الخمسينيات ، بعد أن اتضحت صورة التعرية الوراثية التى بدأت بصورة تدريجية منذ نهاية الحرب العالمية الثانية ، وخاصة أن التعرية كانت شاملة لجميع مراكز الاختلافات التقليدية ، وإن كانت قد حدثت بصورة أسرع فى بعضها عما فى البعض الآخر ، ولقد دق الكثيرون من علماء تربية النبات (من أمثال Harlan ١٩٦٦) ناقوس ، الخطر ووجهوا أنظار العالم إلى خطورة هذا الأمر ، قبل أن تحدث التعرية الكاملة ، وكان من ثمرة جهودهم أن كثفت الجهود منذ الستينيات ، لإنقاذ ماتبقى من ذخيرة الاختلافات الوراثية فأُرْسِلَتْ عديد من الرحلات الاستكشافية ، التى جمعت عشرات الآلاف من السلالات النباتية .

ومن غرائب الصدف أن النجاح الكبير الذى حققته الاصناف المحسنة التى أنتجها مربو النبات كان له دور بارز فى التعرية الوراثية ، فقد حلت هذه الأصناف تدريجياً محل الاصناف المحلية فى المناطق التى كانت تذخر بالاختلافات الوراثية ، وهو أمر حدث نتيجة

تقبل المزارعين لها ؛ لما تميزت به من إنتاج عالٍ أو نوعية جيدة ، ومقاومة للأمراض ، وكان من نتيجة ذلك أن اندثرت الأصناف المحلية التى كانت شائعة فى الزراعة ، واختفت معها ثروة طبيعية من الاختلافات الوراثية كانت قد تجمعت على مدى آلاف السنين ، وكان استمرار وجودها متوقفاً على الإنسان الذى كان يتولى زراعتها عاماً بعد آخر . وقد صاحب ذلك - أيضاً - اختفاء مماثل للأنواع البرية القريبة ، وسلالات الحشائش من المحاصيل المزروعة ؛ لأن « الثورة الخضراء » التى رافقت إدخال الأصناف الجديدة المحسنة .. صاحبها - أيضاً - اهتمام أكبر بالزراعة ، وشهدت تقنيات حديثة ، قضت بدورها على ما تبقى من نباتات برية فى المناطق الزراعية ، وكانت تعتمد فى بقائها على البيئة الطبيعية . حدث ذلك - على سبيل المثال - بعد إدخال أصناف القمح الحديثة وانتشار زراعتها فى تركيا ، والعراق ، وإيران ، وأفغانستان ، وباكستان ، والهند ، حيث لم يعد من السهل العثور على سلالات محلية ، أو برية من القمح ، فى أى منها ، بعد أن كانت هذه الدول تزخر بها . كما حدث الشئ نفسه بعد إدخال الأصناف الحديثة من الأرز .

ولعل الولايات المتحدة ، وكندا ، وغرب ، أوروبا تعد من أبرز الأمثلة على التقدم الزراعى الذى صاحبه اختفاء شبه كامل للاختلافات النباتية الطبيعية واستبدالها بصنف واحد ، أو مجموعة محدودة من الأصناف ذات الخلفية الوراثية المتقاربة من كل محصول narrow genetic base . وعلى الرغم من أن ذلك يعد ضرورياً لمواجهة متطلبات التقنيات الحديثة فى الزراعة .. إلا أنه يمكن أن يعرض المحاصيل المزروعة لأخطار جسيمة إذا ظهرت سلالات جديدة من الآفات الزراعية قادرة على إصابتها ، وهو ما حدث - بالفعل - فى الولايات المتحدة فى عام ١٩٧٠ ، حينما تعرض محصول الذرة لإصابة وبائية بالفطر *Helminthosporium maydis* المسبب لمرض لفحة الذرة الجنوبية ، وقد تبين من الدراسات التى أجريت حول هذا المرض أن السبب فى انتشاره الوبائى كان استعمال مصدر واحد للعقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج معظم هجن الذرة فى الولايات المتحدة ؛ حيث نقل هذا السيتوبلازم الحساس للفطر إلى جميع هجن الذرة ، التى أصبحت بدورها قابلة للإصابة بهذا الفطر .

وإلى جانب الدور غير المباشر للمربى .. فقد أسهمت محاولات التوسع الأفقى فى

الزراعة بدور مهم ، فى التعرية الوراثية ، حيث قضت على البيئة الطبيعية التى كانت تنمو فيها الطرز البرية ، كما كان لتقليع أشجار الغابات دور سلبى بالغ الأهمية كذلك (Hawkes ١٩٨٣) .

وتعد البطاطس من أمثلة الأنواع المحصولية التى حدثت فيها تعرية وراثية كبيرة . ولقد نبه Ochoa (١٩٧٥) إلى أن الطرز البرية من الجنس *Solanum* تختفى بسرعة كبيرة من شيلى ، وبوليفيا ، وبيرو . ولمزيد من التفاصيل .. يمكن الرجوع إلى مقالة Ochoa فى هذا الموضوع .

أوجه الاستفادة من الجيرمبلازم

يستفاد من الجيرمبلازم الذى يتم جمعه بواحدة من ثلاث طرق : إما باستئناسه (أى إدخاله فى الزراعة كمحصول جديد) ، وإما باستعماله كصنف جديد من محصول مزروع ، وإما بالاستفادة منه كمصدر لصفات مهمة يحتاج إليها المربى ، وينقلها إلى الأصناف التجارية من خلال برامج التربية .

الاستئناس

يعرف الاستئناس Domestication فى مجال الزراعة بأنه إدخال محاصيل جديدة فى الزراعة لصالح البشرية ، بعد أن كان وجودها مقصوراً على الحالة البرية فى البيئة الطبيعية . ويلاحظ أن هذا التعريف للاستئناس يستبعد – تلقائيًا – إدخال زراعة محصول ما من بلد إلى بلد آخر ؛ فذلك يدخل تحت مضمون إدخال النباتات Plant Introduction ولاشك فى أن بداية زراعة كل محصول كانت استئناساً له من قِبَل الإنسان ، ومن أمثلة النباتات أو المجموعات النباتية التى استئنست حديثاً مايلى :

١- الكائنات الدقيقة التى استخدمت على نطاق واسع فى إنتاج مضادات الحيوية ، ولعل من أبرز الأمثلة على ذلك .. انتخاب الإنسان لسلالات جديدة من فطر *Penicillium* ذات كفاءة عالية فى إنتاج المضاد الحيوى « البنسلين » .

٢- استئناس وزراعة نبات الجوايَّل guayule (اسمه العلمى *Parthenium argentatum* ؛ بغرض إنتاج المطاط ؛ وهو نبات شجيرى صحراوى ، ينمو – بريًا – فى

شمال وسط المكسيك ، وجنوب غرب الولايات المتحدة ، ورغم أن هذا النبات قد استعمل على نطاق ضيق فى إنتاج المطاط خلال الحرب العالمية الثانية ..إلا أن الاهتمام به – على نطاق واسع – لم يبدأ إلا فى السنوات الأخيرة ، خاصة أنه محصول صحراوى يتحمل الجفاف، ويمكن زراعته فى كثير من المناطق التى لاتتوافر فيها مياه الرى ، بالقدر الذى يلزم لزراعة المحاصيل العادية . وتتوفر البيانات عن هذا المحصول وزراعته فى مصادر خاصة ؛ مثل Fangmeier و آخرين (١٩٨٤) ، و Estilai وآخرين(١٩٨٨) .

٣- استئناس أنواع نباتية أخرى كثيرة مقاومة للملوحة ، أو الجفاف ، أو مقاومة لهما معاً وزراعتها لأغراض مختلفة لصالح الإنسان وحيواناته الزراعية كمحاصيل زيتية ، أو محاصيل علف . وعلى سبيل المثال .. قام خبراء من جامعة أريزونا فى السنوات الأخيرة بتجربة زراعة أحد النباتات المحبة للملوحة halophytes ، والتى تسقى بماء البحر مباشرة فى مصر ، والإمارات العربية ، والمكسيك بغرض استعمالها علفاً للماشية واستخراج الزيت من بذورها . هذا .. ويمكن الرجوع إلى Somers (١٩٧٩) ، و Univ. of Arizona (١٩٨٠) ؛ لمزيد من التفاصيل عن الأنواع النباتية المقاومة للملوحة أو الجفاف ، التى تجرى محاولات استئناسها .

٤- استئناس شجيرات الهوهوبا ، وهو نبات صحراوى يتحمل ظروف الجفاف الشديد، ويُستَخرج من بذوره زيوت ، تجمع بين خصائص الدهن ، والشمع ، وتستعمل فى صناعة مواد التجميل ، كما تستخدم كزيوت لتشحيم الطائرات ، كبديل لزيت عنبر الحوت (مجلة الزراعة فى الشرق الأوسط – العدد الأول – المجلد الرابع) .

إدخال النباتات فى الزراعة كأصناف جديدة

يمكن أن تستعمل السلالات النباتية فى الزراعة مباشرة كصنف جديد من محصول مزروع ، إذا توفر لذلك شرطان ، هما :

١- أن يكون النبات المستورد من صنف تجارى .
٢- أن يفوق غيره من الأصناف الأخرى المنتشرة فى الزراعة عند مقارنته بها .

يعد هذا المفهوم لإدخال النباتات .. هو الأكثر واقعية فى الدول النامية التى تستورد مئات الأصناف المحسنة من المحاصيل الزراعية – سنوياً – من الدول الأكثر تقدماً ، بغرض تقييمها وإدخالها فى الزراعة مباشرة ، إذا ثبت أنها تفوق الأصناف المحلية .

استعمال الجيرمبلازم كمصدر لصفات مهمة فى برامج التربية

كانت مجموعات الجيرمبلازم العالمية للمحاصيل الزراعية - ولاتزال - هى المصدر الأول لعديد من الصفات الهامة التى نقلت إلى الأصناف التجارية المحسنة فى برامج التربية . ونعنى بذلك جيرمبلازم الأصناف المزروعة من المحصول ، وجيرمبلازم الطرز البرية (الحشائش المحصولية) منه ، وجيرمبلازم الأنواع البرية القريبة منه ، ونسوق - فيما يلى - بعض الأمثلة لفئة واحدة من النباتات ؛ هى محاصيل الخضر ، توضح إلى أى مدى استخدمت السلالات المدخلة (أو المستوردة) Plant Introductions فى تحسينها .

١- البصل :

أ- اكتشف Henry A . Jones العقم الذكرى فى أحد النباتات البرية من البصل سنة ١٩٢٥ ، والذى أصبح أهم نبات فى تاريخ تربية البصل . وتحتوى جميع هجن البصل المنتجة فى الولايات المتحدة على سيتوبلازم هذا النبات .

ب- وجدت المقاومة للتربس فى الصنف White Persian الإيرانى فى سنة ١٩٣٤ ، ولايزال هذا الصنف مستعملا كمصدر للمقاومة للتربس فى برامج التربية .

جـ- اكتشفت المقاومة لدودة البصل onion maggot فى السلالة P. I . 344251 التى كانت قد جمعت من تركيا .

٢- القاوون :

أ- اكتشفت المقاومة للبياض الدقيقى فى أصناف جمعت من الهند ، واستخدمت فى إنتاج أول صنف تجارى محسن مقاوم ، وهو PMR 50 سنة ١٩٣٢ ، الذى كان بداية لإنتاج سلسلة من الأصناف المقاومة للسلالة رقم (١) من الفطر المسبب للمرض والتى كان من أهمها الصنف PMR 45 .

ب - اكتشفت - كذلك - المقاومة للسلالة رقم (٢) من الفطر المسبب لمرض البياض الدقيقى فى سلالة هندية أخرى ، واستعملت فى إنتاج الصنفين المقاومين PMR5 ، وPMR6 سنة ١٩٤٢ ، وقد تلاهما ظهور أصناف أخرى مقاومة .

جـ- وجدت المقاومة للبياض الزغبى فى السلالتين P . I. 124111 ، و P. I. 124112

من الهند ، ونقلت منهما إلى الصنف Gulfstream وغيره .

د- اكتشفت المقاومة لفيروس تبرقش البطيخ رقم (١) فى السلالة الهندية P.I.180280

هـ- اكتشفت المقاومة لفيرس تبرقش القاوون فى سلالة شرقية ، تستعمل فى التخليل .

و- اكتشفت المقاومة للمن ، فى السلالة الهندية P. I . 371795 .

٣- الخيار :

أ- اكتشفت المقاومة لفيرس تبرقش الخيار فى الصنف الصينى شاينيز لونج Chinese Long سنة ١٩٢٦ ، ثم فى الصنف طوكيو لونج جرين Tokyo Long Green الذى استعمله H . M . Munger كمصدر لمقاومة الفيرس فى أول صنفين تجاريين محسنين ، وهما تيبل جرين Tablegreen ، وماركت مور Marketmore ، وماتلاهما من أصناف مقاومة .

ب- اكتشفت المقاومة للأنثراكنوز ، والبياض الدقيقى فى السلالة الهندية P. I. 197087 التى استخدمت فى التربية لإنتاج أصناف مقاومة فى كارولينا الجنوبية .

حـ- اكتشف الخيار الأنثوى gynoecious فى الصنف الكورى شوجوين Shogoin (P.I. 220860) ، الذى أكثر فى سنة ١٩٥٤ ، وأنتج منه أول سلالة خيار أنثوية محسنة وهى MSU 713-5 سنة ١٩٦٠ وهى التى استعملت - بدورها - فى إنتاج الهجين الأنثوى الأول سبارتان داون Spartan Dawn ، وسلالات أنثوية أخرى ، كانت الأساس لكل ما تلاها من أصناف خيار أنثوية .

د- وجدت المقاومة للبياض الدقيقى فى السلالة اليابانية P. I. 212233 .

هـ- وجدت المقاومة للذبول البكتيرى فى السلالتين P. I. 200815 ، و P. I. 200818 من بورما .

ز - وجدت صفة الثمار غير المرة فى السلالة الهولندية P.I.265887 .

ح - وجدت المقاومة للأنثراكنوز فى السلالة رقم P.I. 197087 من الهند .

ط - أما صفة الثمار البكرية ..فهى توجد فى أصناف خيار البيوت المحمية الأوروبية ، وقد نقلت منها إلى الأصناف الأخرى .

٤- الكوسة :

أ- وجدت المقاومة لحشرة خنفساء الخيار فى سلالات من *Cucurbita pepo* ، و *C. moschata* ، و *C. maxima* .

ب- وجدت المقاومة لكل من البياض الزغبى والبياض الدقيقى فى سلالة *C. maxima* رقم P.I.135893 من الهند .

جـ- وجدت المقاومة لفيرس تبرقش الخيار فى سلالة *C. pepo* رقم P.I.176959 من تركيا .

د- وجدت المقاومة لفيرس تبرقش الكوسة فى السلالة P.I. 172870 من تركيا .

٥ - البسلة :

أ- وجدت المقاومة لفيرس pea enation mosaic فى السلالة P.I.140295 من إيران .

ب- وجدت المقاومة لفيرس التبرقش المحمول بالبذور seed- borne mosaic virus فى إحدى السلالات المستوردة .

٦- الخس :

أ- اكتشفت المقاومة للبياض الزغبى فى إحدى سلالات النوع *Lactuca serriola* من روسيا . وهى التى جمعت فى سنة ١٩٣٢ ، واستعملت فى إنتاج ١٨ سلالة مقاومة من الخس ، وزعت على مربى المحصول فى عام ١٩٥٨ . كما وجدت المقاومة لنفس المرض فى سلالة الخس P. I. 167150 من تركيا فى سنة ١٩٤٩ ، وقد استُعْمِلَ المصدران السابقان للمقاومة فى إنتاج الصنفين المقاومين فالمين Valmaine ، وفالريو Valrio وغيرهما .

ب - اكتشفت السلالة رقم (٢) من الفطر بعد ذلك ، ووجدت المقاومة لها فى السلالات : P. I. 27373 ، و P.I. 250425 ، و P.I. 274900 ، و P.I. 273606 ، و P.I. 274369 ، وهى التى استعملت فى إنتاج الصنف كالمار Calmar وماتلاه من أصناف مقاومة .

جـ- وتلا ذلك اكتشاف السلالة رقم (٣) من الفطر ، ثم اكتشفت المقاومة لها فى الصنف الهولندى سوليتا Solita .

د- اكتشفت المقاومة لفيرس موزايك الخس فى السلالات P.I. 251245 ، و P.I. 251246 ، و P.I. 251247 التى استخدمت فى إنتاج أول الأصناف المقاومة من طراز الفانجارد Vanguard.

هـ- وجدت المقاومة لحشرة : Cabbage looper فى سلالة *L. saligna* رقم P.I. 261653 .

ز - وجدت المقاومة لمرض الجذر الفلينى فى عدة سلالات مستوردة .

جـ - وجدت صفة الإزهار البطئ فى السلالة P. I. 21118 .

٧- الفاصوليا :

أ- وجدت المقاومة لمرض اللفحة الهالية فى بعض الأصناف الأمريكية المقاومة للسلالة رقم ٢ من البكتيريا المسببة للمرض فى السلالة P.I.150414 من السلفادور .

ب- وجدت المقاومة لعفن الجذر الفيوزارى فى السلالة P.I.203958 التى استخدمت فى إنتاج أصناف الفاصوليا الجافة فيفا Viva، و روزا Rosa .

جـ- وجدت المقاومة لثلاث سلالات من بكتريا الذبول فى السلالة P.I.165078 من تركيا ، وهى التى استعملت فى إنتاج الصنف المقاوم إمرسون Emerson .

د- وجدت المقاومة لأربع سلالات من الفطر المسبب للأنثراكنوز فى إحدى السلالات من فنزويلا ، التى استعملت فى إنتاج السلالة Cornell 49-242 ، وهى التى استعملت - بدورها - فى إنتاج أول الأصناف المقاومة شارليفوا Charlevoix.

هـ- وجدت المقاومة للفحة البكتيرية العادية فى السلالة P.I.207262 من كولومبيا .

و- وجدت المقاومة لفيروسى التبرقش العادى ، والتبرقش الأصفر فى السلالة P.I.169754 من تركيا ، و P.I. 226856 من إسبانيا ، و P.I. 207203 من كولومبيا .

ز- وجدت المقاومة لخنفساء الفاصوليا المكسيكية فى السلالة P.I. 181786 من سوريا .

حـ - وجدت المقاومة لنطاطات الأوراق فى السلالة P.I. 173024 من تركيا ، وP.I.151014 من شيلى .

ط- وجدت سلالات عالية إما فى محتواها من البروتين ، وإما من الحامض الأمينى الضرورى مثيونين فى السلالات P.I. 180750 ، و P.I. 226920 ، و P.I. 169740 .

ى- وجدت القدرة على زيادة كفاءة استعمال عنصر البوتاسيوم عند مستويات منخفضة من العنصر فى السلالة P.I.180761 .

٨- البطاطس :

لقد ذكر أن من بين ١٢٠ صنفاً من البطاطس- أنتجت خلال الفترة من ١٩٣٠ إلى ١٩٧٠ - دخل إثنان أو أكثر من سلالات النباتات المدخلة Plant Introductions فى

أنساب ١١٣ صنفا منها ، كما استعمل فى كثير منها النوع *S. demissum* والأصناف الأوربية كمصدر مقاومة للندوة المتأخرة .

٩- البطاطا :

أ- استخدمت أكثر من ثلاثين سلالة مدخلة (P.I) من اليابان ، وبورتوريكو كمصادر لمقاومة العفن الاسود ، والذبول الفيوزارى ، وعفن التربة ، ونيماتودا تعقد الجذور ، وفيرس الفلين الداخلى .

ب- استخدمت السلالة P.I.153655 من جزيرة تنجان Tinjan Island كمصدر لمقاومة الذبول الفيوزارى فى كل من أصناف البطاطا المحسنة جم Gem ، و ردكلف Radcliffe ، وجوليان Julian .

١٠ السبانخ :

عثرت على المقاومة لكل من البياض الزغبى ، وفيرس تبرقش الخيار (١) فى السلالاتين P.I. 140467 ، و P.I. 179590 .

١١- البطيخ :

نقل Orton صفة المقاومة للذبول الفيوزارى من البطيخ البرى الأفريقى Citron ، وأنتج أول الأصناف المقاومة للمرض وهو كونكرر Canqueror سنة ١٩١١ .

١٢- الكرنب :

أ- أدخلت المقاومة للعفن الأسود من صنف يابانى .

ب- أدخلت المقاومة للصدأ الأبيض ، وتعقد جذور الصليبيات ، وفيرس تبرقش اللفت ، والقدرة على تحمل الحرارة العالية من أنواع برية مختلفة .

جـ- اكتشفت المقاومة للبياض الزغبى فى السلالات P.I. 296131 ، و P.I. 205993 ، وP.I. 205994 من السويد ، و P.I. 189028 من البرتغال ، و P.I. 245015 من فرنسا .

د- حصل على المقاومة لفيرس تبرقش القنبيط من السلالتين P.I.225858 ، و P.I. 225860 من الدانمرك ، و P.I. 229747 من إيران .

١٣- الطماطم :

أ- اكتشفت المقاومة للذبول الفيوزارى في السلالة P.I. 79532 من *Lycopersicon pimpinellifolium* ، وكانت من بيرو ، واستعملت كمصدر للمقاومة فى إنتاج أكثر من ١٠٠ صنف مقاوم .

ب- أعقب ذلك اكتشاف المقاومة للسلالة رقم (٢) من الفطر المسبب للذبول الفيوزارى فى سلالة *L.esculentum* رقم P.I. 126915 .

جـ- استخدمت بعض سلالات من *L . Pimpinellifolium* كمصدر لمقاومة عفن الرقبة ، وفطر استمفيللم *Stemphyllium*، وفيرس ذبول الطماطم المبقع .

د- وجدت المقاومة لذبول فيرتسيللم في السلالة P.I.303801 من أمريكا الجنوبية .

هـ- اكتشفت درجة عالية من المقاومة لفيرس تبرقش الطماطم في سلالة *L.peruvianum* رقم P.I. 128650 .

و- وجدت صفة المحتوى المرتفع من حامض الأسكوربيك (فيتامين جـ) فى السلالة P.I.126946 من *L . peruvianum* .

ز- وجدت صفة القدرة على الإنبات في درجة الحرارة المنخفضة فى سلالتين من الاتحاد السوفيتي .

حـ- وجدت المقاومة للندوة المتأخرة فى السلالة P.I. 204587 من تركيا .

طـ- اكتشفت المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور فى النوع *L.peruvianum* سلالة رقم P.I. 128657 ، واستعملت فى إنتاج عشرات الأصناف المقاومة (عن Peterson ١٩٧٥) . ولمزيد من التفاصيل عن مصادر المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور من مختلف الأنواع البرية من الجنس *Lycopersicon* .. يراجع Ammati وآخرون (١٩٨٦) .

يتضح مما تقدم .. أن الجيرمبلازم كان مصدراً لعديد من الصفات الهامة ، التى استخدمها المربون فى برامج التربية ، خاصة صفات المقاومة للآفات . ويذكر Skrdla (١٩٧٥) أن من بين ٦٠٠ سلالة خيار اختبرت .. كانت ١٢٥ منها مقاومة لآفة (مرض أو حشرة) ، أو أكثر ، وأن أكثر من ٥٠٪ من السلالات المقاومة كانت متعددة المقاومة للآفات، وظهر بإحداها (وهى P.I. 197087) مقاومة لثمانى آفات . كما ظهر عند اختبار ٢٧٠٠ سلالة طماطم وجود مقاومة لآفة أو أكثر فى ٢٥٠ سلالة منها ، وظهر فى عديد منها

مقاومة لنحو ٨-١٢ آفة ، وكان فى إحداها مقاومة لثلاث عشرة آفة . هذا .. ويعطى Knott & Dovrak(١٩٧٦) بياناً بمصادر المقاومة للأمراض فى جيرمبلازم الأنواع البرية عامة .

كانت تلك كلها مجرد أمثلة لحالات استعملت فيها السلالات المدخلة كمصدر لصفات مهمة ، عند إنتاج الأصناف المحسنة من بعض محاصيل الخضر . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يمكن الرجوع إلى Kruell & Borlaug (١٩٧٠) ، و Skardla (١٩٧٢) ، و Leon (١٩٧٤) ، و Peterson (١٩٧٥) ، و Alexander (١٩٧٥) ، و Bliss (١٩٨١) ، وكذلك Duke(١٩٨٢) بالنسبة لمصادر تحمل الظروف البيئية القاسية .

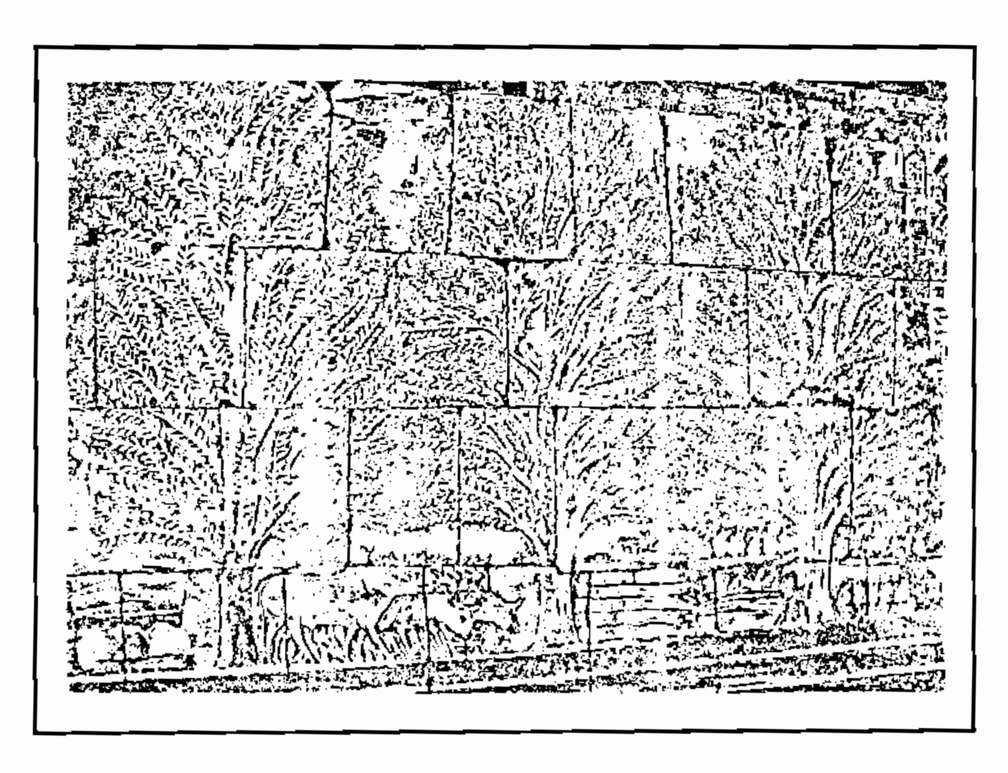
استكشاف الجيرمبلازم فى الداخل وفى الخارج

إن البحث عن الجيرمبلازم (أو استكشاف الجيرمبلازم) قد يكون داخلياً Domestic Plant Exploration أو خارجياً Foreign Plant Exploration ، والغرض فى كلتا الحالتين هو البحث عن مصادر الاختلافات الوراثية . ويكون للبحث الداخلى عن الجيرمبلازم أهمية فى استكشاف الطرز البلدية المتأقلمة جيداً على الظروف البيئية السائدة محلياً ، والتى تكون صفاتها مرغوبة من جمهور المستهلكين ؛ والأمثلة على ذلك كثيرة ، لعل أبرزها مئات الأصناف من نخيل البلح ، التى توجد فى منطقة الخليج العربى ، والتى نشأ أكثرها كانعزالات وراثية من حالات الإكثار الجنسى ، ثم أكثرت خضرياً بعد ذلك . كما كان هناك وعى دائم فى مصر بوجود انعزالات وراثية متفوقة من أشجار المشمش المكثرة - بذرياً - إلى أن تمكن القائمون على مشروع تطوير النظم الزراعية من إجراء الحصر اللازم ، والتعرف على عدد من الأشجار الممتازة الصفات فى أنحاء متفرقة من الدولة .

ولاشك فى أن كل دولة تزخر بالطرز المختلفة المحلية الشائعة بها من بعض المحاصيل الزراعية ؛ فالثوم البلدى المصرى -برغم صغر فصوصه- يعد أعلى محصولاً - فى مصر- من الأصناف المستوردة ذات الفصوص الكبيرة ، والتفاح المحلى العراقى يتميز بدرجة عالية - نسبياً - من الحموضة ، تجعله أكثر قبولاً لدى جمهور المستهلكين - فى العراق - عن الأصناف المستوردة . وتعتبر الأصناف المحلية من السبانخ أبطأ -اتجاهاً نحو

الإزهار– من بعض الأصناف المستورده ... إلخ . وهكذا .. نجد فى أحيان كثيرة أن استكشاف الجيرمبلازم –داخليًا– يكون مجديًا فى تحسين الأصناف المحلية ، وفى العثور على مصادر لصفات التأقلم على الظروف البيئية ، وصفات النوعية التى يرغب فيها المستهلكون .

وبالرغم من أهمية الاستكشاف الداخلى للجيرمبلازم .. فإن ذكر موضوع البحث عن الجيرمبلازم وجمعه يعنى به – غالباً– تنظيم الرحلات الخارجية لاستكشاف الجيرمبلازم فى المناطق التى تكثر فيها الاختلافات الوراثية . ولعل أقدم رحلة نظمت فى التاريخ لجمع النباتات كانت تلك التى قام بها قدماء المصريين فى عهد الملكة حتشبسوت (من الأسرة الثانية عشرة) ، التى أرسلت سفنها إلى غرب أفريقيا ، لجمع نبات البخور incense من بلاد البونت (على سواحل الصومال) ، منذ نحو ٣٥٠٠ عام ، وقد وجدت النقوش الدالة على هذه الرحلة على جدران معبد الدير البحرى ؛ غرب الأقصر (شكل ٥–١) .



شكل (٥ – ١) : نقوش قدماء المصريين الخاصة برحلة جمع نبات البخور من بلاد البونت .

إن استكشاف الجيرمبلازم يتطلب أن يكون الباحث على دراية واسعة بعلم تقسيم النبات ، وبالاختلافات الوراثية المتوفرة من المحصول . ويفضل أن يقوم مربى النبات نفسه بعملية البحث عن الجيرمبلازم وجمعه ؛ لأنه أكثر من غيره تقديرا وتفهماً لأهمية هذا العمل .

المنظمات والمؤسسات المهتمة باستكشاف الجيرمبلازم وجمعه

سبق أن أوضحنا أن استكشاف الجيرمبلازم وجمعه لم يبدأ بصورة منظمة وعلى نطاق واسع إلا بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية ، بعد أن بدأ العلماء فى إثارة موضوع تعرية الجيرمبلازم فى المحافل الدولية .

المنظمات الدولية المهتمة بالجيرمبلازم

بدأ اهتمام منظمة الأغذية والزراعة الدولية بالجيرمبلازم فى عام ١٩٤٧ ، حينما أوصت إحدى اللجان المتفرعة عن المنظمة (لجنة السلالات النباتية والحيوانية) بتوفير المعلومات عن السلالات النباتية ، وحرية تبادلها بين جميع أنحاء العالم . وعقد قسم إنتاج ووقاية النبات التابع للمنظمة أول اجتماع فنى له حول استكشاف النباتات وإدخالها فى عام ١٩٦١ ، وأوصى بإنشاء مراكز استكشاف Exploration Centers فى أجزاء مختلفة من العالم . كما عقدت المنظمة مؤتمراً فنيًا حول استكشاف الثروة الوراثية النباتية واستعمالها، وحفظها عام ١٩٦٧ ، ونشرت وقائعه بعد ذلك (Frankel & Bennett ١٩٧٠) ، ثم عقد المؤتمر الثانى فى عام ١٩٧٣ (Frankel & Hawkes ١٩٧٥) والثالث فى عام ١٩٨١ .

وتعد الكتب التى نشرت فيها وقائع هذه المؤتمرات من أفضل ما صدر عن موضوع استكشاف الجيرمبلازم وجمعه وحفظه ، وقد كان لمنظمة الأغذية والزراعة الدولية أنشطة أخرى مهمة فى هذا المجال ، منها : نشر الـ Plant Genetic Resources Newsletter ، وإنشاء وحدة البيئة المحصولية والثروة الوراثية FAO Unit of Crop Ecology and Genetic Resources وإنشاء هيئتين من الخبراء Expert Panels للثروة الوراثية النباتية ، كان لهماعديد من الأنشطة فى هذا المجال .

وقد تأسست المجموعة الاستشارية للبحث الزراعي الدولي The Cosnulative Group on International Agricultural Research (تكتب اختصاراً :CGIAR) سنة ١٩٧١ ؛ بإشراف مشترك من البنك الدولي ، ومؤسسة الأغذية والزراعة الدولية ، وبرنامج التنمية الإنمائي للأمم المتحدة (UNDP) ، وبتمويل من المؤسسات الخاصة مثل فورد ، وركفللر ، وكيلوج ، ومن الـ UNDP ، والبنك الدولي . وتهدف هذه المجموعة إلى زيادة الإنتاج الزراعي في دول العالم الثالث ؛ من خلال أنشطة سبعة معاهد ، ومراكز بحثية للمحاصيل، واثنين آخرين للحيوانات الزراعية ،والمجلس الدولي للثروة الوراثية النباتية International Board for Plant Genetic Resources (يكتب اختصاراً IBPGR) .

وقد أنشئ المجلس الدولي للثروة الوراثية النباتية في عام ١٩٧٣ ، وكان له أنشطة متعددة ؛ من أهمها إقامة اللجان الاستشارية المحصولية ، والتعاون مع المؤسسات الوطنية في مختلف البلدان ، وتوفير الدعم للمهمات الاستكشافية عن الجيرمبلازم في أنحاء متفرقة من العالم ، ووضع الضوابط لعملية جمع ، وتوثيق ، وحفظ الجيرمبلازم في جميع مراحلها ، وإقامة الندوات ، وتدريب العاملين في هذا المجال .

أما مراكز شبكة معلومات المجموعة الاستشارية للبحث الزراعي الدولي (CGIAR) ، التي لها اهتمامات بجيرمبلازم المحاصيل الزراعية .. فهي كما يلي :

١- معهد بحوث الأرز الدولي International Rice Research Institute (يكتب اختصاراً : IRRI) ، ويوجد المعهد في Los Banos بالفلبين ، ويهتم بتحسين محصول الأرز من كافة الوجوه . تتوفر لدى المعهد أعداد هائلة من سلالات الأرز الـ *indica* ، والـ *japonica* التي جمعها من جنوب أسيا ، وجنوب شرقها ، وشرقها . أما سلالات الأرز الغرب -أفريقية .. فإنها تحفظ في المعهد الدولي للزراعة الاستوائية ، كما تخزن سلالات الأرز الـ *japonica* في اليابان . ويحتفظ المركز بأكثر من ٢٤٠٠٠ سلالة من الأرز .

٢- المركز الدولي لتحسين الذرة والقمح The International Maize and Wheat Improvement Center (يكتب اختصاراً : CIMMYT) :

يوجد المركز في El-Batan بالمكسيك ، ويهتم بجيرمبلازم ، وتحسين الذرة والقمح .

٣- المركز الدولى للزراعة الاستوائية The International Center For Tropical Agriculture (يكتب اختصاراً CIAT) :

يوجد المركز فى Palmira بكولومبيا ، ويهتم بجيرمبلازم ، وتحسين كل من الكاسافا والفاصوليا ، والنباتات الرعوية من النجيليات والبقوليات . ويحتفظ المركز حالياً بأكثر من ٣٥٠٠٠ سلالة من الجنس *Phaseolus* (عن Hussain ١٩٨٦) .

٤- المعهد الدولى للزراعة الاستوائية The International Institute of Tropical Agriculture (يكتب اختصاراً IITA) :

يوجد المعهد فى Ibadan بنيجيريا ، ويهتم بجيرمبلازم الأرز الأفريقى ، والمحاصيل الجذرية ، واللوبيا ، وبعض النباتات الأخرى الشائعة فى المنطقة غير الذرة الرفيعة والدخن .

٥- مركز البطاطس الدولى The International Potato center (يكتب اختصاراً CIP) :

يوجد فى Lima ببيرو ، ويهتم بجيرمبلازم البطاطس والأنواع البرية القريبة التى جمع منها أكثر من ٤٠٠٠ سلالة (عن Ochoa ١٩٧٥) .

٦- معهد بحوث المحاصيل الدولى للمناطق الاستوائية شبه الجافة The International Crop Institute for the Semi-Arid Tropics (يكتب اختصاراً ICRISAT) :

يوجد المعهد فى Hyderabad فى الهند ، ويهتم بجيرمبلازم المحاصيل المقاومة للجفاف خاصة : الذرة الرفيعة ، والدخن ، وبسلة تشك ، والفول السودانى ، وبسلة بيجون .

٧- المركز الدولى للبحوث الزراعية فى المناطق الجافة The International Center for Agricultural Research on Dry Areas (يكتب اختصاراً : ICARDA) :

يوجد المركز فى حلب بسوريا ، ويهتم بجيرمبلازم الشعير ، والعدس ، والفول ، والقمح الـ durum ، وبسلة تشك .

٨- المركز الآسيوى لبحوث وتطوير الخضر The Asian Vegetable Research and Development Center (يكتب اختصاراً : AVRDC) :

يوجد فى تايوان ، وبرغم أنه يرتبط بشبكة معلومات الـ CGIAR إلا أنه لايعد - رسميًا - جزءاً منها ، ويهتم بجيرمبلازم وتحسين الطماطم ، وفول الصويا ، والكرنب الصينى ، والبطاطا ، وفاصوليا المنج ، وعدة محاصيل خضر أخرى .

٩- رابطة تطوير الأرز الغرب أفريقية The West African Rice Development Association :

ترتبط الرابطة بشبكة معلومات الـ CGIAR إلا إنه ليس من مهامها حفظ الجيرمبلازم.

شبكات المعلومات الإقليمية

تولت المجموعة الاستشارية للبحث الزراعى الدولى IBPGR مسئولية إنشاء عدة شبكات للمعلومات تغطى كل منها عدة دول فى شبكة إقليمية Regional Networks كما يلى :

١- أوروبا :

بدأ العمل فى جمع الجيرمبلازم والاهتمام به منذ أيام فافيلوف فى معهد النباتات Institute of Plant Industry بلينينجراد ، ثم أنشئت شبكة معلومات لبنوك الجينات الأوروبية بفضل جهود الرابطة الأوروبية لبحوث تربية النبات The European Association for Research on Plant Breeding (اختصاراً : EUCARPIA) ضمت مايلى :

١- بنك الجيرمبلازم The Insituto del Germplasma فى Bari بإيطاليا .

٢ - بنك للجينات Institut fur Pflanzenbau und Pflanzenzuchtung فى Braunschweig - Volkenrode بألمانيا .

٣- بنك الجينات الإسكندنافى The Nordic Gene Bank فى Lund بالسويد .

٤- بنك للجينات فى Kew بإنجلترا ، وبنك جينات الخضر بمحطة بحوث الخضر الوطنية National Vegatable Research Station فى Wellesbourne بإنجلترا أيضاً.

وقد أنشئت بنوك أخرى للجينات فى دول غرب أوروبا ، بكل من Braga فى البرتغال ، ومدريد بإسبانيا ، و Thessaloniki باليونان ، ونيقوسيا بقبرص ، و Wageningen بهولندا ، و Gembloux ببلجيكا ، و Montpellier بفرنسا . كما اتخذت خطوات لربط شبكات المعلومات التى توجد فى دول شرق أوروبا بتلك التى توجد فى دول غرب أوروبا . وتوجد بنوك الجينات فى أوروبا الشرقية فى كل من لينتجراد بروسيا ، و Gatersleben بألمانيا الشرقية (سابقاً) ، و Radzikow ببولندا ، وبراغ بتشيكوسلوفاكيا ، و Tapioszele بالمجر ، و Fundulea برومانيا ، و Plovidiv ببلغاريا .

٢- جنوب شرق آسيا .

٣- جنوب غرب آسيا .

٤- جنوب آسيا .

٥- حوض البحر الأبيض المتوسط .

ولمزيد من المعلومات عن المؤسسات الدولية وشبكات المعلومات المهتمة بالجيرمبلازم يراجع كل من : Zeven & Harten (١٩٧٩) ، و Hawkes (١٩٨٣) .

برامج وبنوك الجينات الوطنية

رغم أن بنوك الجينات الأوروبية ترتبط معاً بشبكة معلومات .. إلا أن جميعها بنوك وطنية . وتوجد برامج وبنوك جينات وطنية أخرى فى كل من الولايات المتحدة الأمريكية ، والاتحاد السوفيتى ، وكندا ، واستراليا ، واليابان ، والصين ، والبرازيل ، ودول أخرى . ويعتبر معهد فافيلوف N.I. Vavilov Institute هو المسئول عن تجميع الجيرمبلازم داخل الاتحاد السوفيتى وخارجه ، ويتبعه ٢٥ محطة بحوث ، تنتشر فى أنحاء متفرقة من الدولة. ويقوم المعهد بجمع مايقرب من ١٢٠٠٠ - ١٦٠٠٠ سلالة بذرية وخضرية سنوياً ، وهو يحتفظ بأكثر من ٢٠٠٠٠٠ سلالة من كافة المحاصيل ، ويرسل عينات منها لمن يطلبها بحرية تامة ، ويحتفظ بالسلالات البذرية فى أوعية غير منفذة للرطوبة ، على درجة حرارة تتراوح من صفر -٤°م ، كما يقوم المعهد بإكثار هذه السلالات وتقييمها . ولمزيد من التفاصيل الخاصة بهذا الأمر .. يراجع Brezhnev (١٩٧٥) .

ويعتبر جهاز الجيرمبلازم الوطنى الأمريكى من أكبر وأنجح أجهزة الجيرمبلازم فى العالم ؛ لذا .. سنتناوله بشئ من التفصيل .

جهاز جيرمبلازم النباتات الوطنى فى الولايات المتحدة (مثال)

يعتبر جهاز جيرمبلازم النباتات الوطنى The National Plant Germplasm System (يكتب اختصاراً : NPGS) فى الولايات المتحدة أحد المكونات الرئيسية لشبكة معلومات جيرمبلازم النباتات الدولية ، ويوجد تنسيق بينه وبين المجلس الدولى للثروة الوراثية النباتية IBPGR . يحتفظ الجهاز -حاليًا- بأكثر من ٤٠٠ ٠٠٠ سلالة نباتية على شكل بذور أو نباتات خضرية ، تزيد بمعدل ٧٠٠٠ - ١٥٠٠٠ سلالة سنويًا ، كما تحتفظ بعض تعاونيات وراثة النباتات وتحسينها ، ومخزن البذور الوطنى National Seed Storage Laboratory (يكتب اختصاراً : NSSL) الأمريكى بأعداد إضافية من السلالات . تتكون البنية الأساسية لهذا الجهاز من أربعة مكونات رئيسية ، هى :

١- إدخال النباتات Plant Introduction :

يشرف على إدخال النباتات فى الولايات المتحدة مكتب إدخال النباتات The Plant Inroduction Office الذى يعد جزءاً من معهد وراثة وجيرمبلازم النباتات Plant Genetics and Germplasm Institute (يكتب اختصاراً : PGGI) فى Beltsville بولاية ميرلاند ، وهو الذى يتبع وزارة الزراعة الأمريكية USDA . يسجل المكتب أية سلالة جديدة تدخل الولايات المتحدة تحت رقم خاص بها Plant Inventory (أو P . I .) .

وقد بدأ تطبيق نظام أرقام الـ P.I.s فى سنة ١٨٩٨ ، ولايعطى أى رقم إلا مرة واحدة . هذا .. ولايحتفظ المكتب بأية سلالات لديه وإنما يتولى توزيعها على المحطات والمراكز المختصة مباشرة. يتبع الـ PGGI - أيضاً - مختبران ، ومحطة إدخال للنباتات . ويتولى مختبر تقسيم النباتات The Plant Taxonomy Laboratory التعرف على النباتات التى تدخل جهاز الجيرمبلازم الوطنى ، ويعطيها الأسماء العلمية الصحيحة ، كما يشارك فى رحلات استكشاف النباتات . أما مختبر النباتات الاقتصادية The Economic Botany Laboratory .. فإنه يقوم بدراسة التوزيع الجغرافى والبيئى للأنواع المحصولية .

وتقوم محطة إدخال النباتات The Plant Introduction Station فى Glenn Dale

بولاية ميرلاند بتوزيع أجزاء التكاثر الخضرية الخالية من الآفات ، التى تخضع للحجر الزراعى من كل من الفاكهة ، ونباتات الزينة الخشبية ، وبعض الخضروات . أما محطة فحص النباتات Plant Inspection Station فى واشنطن العاصمة .. فإنها تقوم بفحص الأجزاء النباتية ظاهريًا ؛ للتأكد من خلوها من الحشرات ومسببات الأمراض ؛ أما الأمراض التى تحمل -داخليًا- فى البذور .. فإنه لايمكن التعرف عليها إلا بعد زراعة عينة منها ، ويجرى ذلك داخل بيوت محمية فى محطات إدخال النباتات الإقليمية .

تقوم محطة إدخال النباتات فى ميامى The Plant Introduction station at Miami بولاية فلوريدا - وهى جزء من محطة بحوث المحاصيل البستانية تحت الاستوائية التابعة لوزارة الزراعة الأمريكية - بمهمة تقييم ، وإدامة أصناف وسلالات بعض المحاصيل تحت الاستوائية ؛ مثل المانجو ، والأفوكادو ، والبن ، والكاكاو .

وتتولى أربع محطات إدخال نباتات إقليمية Regional Plant Introduction Stations (تكتب اختصاراً : RPIS) مهمة إدامة جيرمبلازم النباتات ، وتقييمه ، وهى كما يلى :

أ- محطة إدخال النباتات الإقليمية فى Geneva بنيويورك (Northeastern RPIS) ، ويدخل ضمن مسئولياتها محاصيل البصل ، والبسلة ، والبروكولى ، وعشب التيموثى timothy ، والطماطم التى نقلت إليها مؤخراً .

ب- محطة إدخال النباتات الإقليمية فى Experiment بولاية جورجيا (Southern RPIS) ، ويدخل ضمن مسئولياتها اللوبيا ، والدخن ، والفول السودانى ، والذرة الرفيعة ، والفلفل .

جـ- محطة إدخال النباتات الإقليمية فى Ames بولاية أيوا (North Central RPIS) ويدخل ضمن مسئولياتها البرسيم الحجازى ، والذرة ، والبنجر ، والخيار ، والقاوون الذى نقل إليها مؤخراً .

د- محطة إدخال النباتات الإقليمية فى Pullman بولاية واشنطن (Western RPIS)، ويدخل ضمن مسئولياتها الفاصوليا ، والكرنب ، والعكرش Fescue ، والقمح ، والعدس ، والخس ، والقرطم ، وبسلة تشك . وتوجد محطة إدخال أخرى غير إقليمية ، هى محطة إدخال البطاطس Interregional Potato Introduction Station فى Surgeon Bay

بولاية وسكنس ، وهى تركز على المحافظة على جيرمبلازم سلالات البطاطس ، وتحسينها ، لتلبية احتياجات مربى المحصول . وتحتفظ هذه المحطة بأكثر من ٢٠٠٠ سلالة خضرية من الجنس *Solanum* ، تمثل ٩٢ من الأنواع التى تكون درنات ، وتحفظ البذور الحقيقية لنحو ٧٠٪ منها فى مخزن البذور الوطنى .

٢- مجموعات النباتات Plant Collections :

تشرف وزارة الزراعة الأمريكية على مخزن البذور الوطنى National Seed Storage Laboratory فى Fort Collins بولاية كلورادو ، الذى أنشئ فى سنة ١٩٥٨ ليتسع لنحو نصف مليون عينة بذور ؛ من السلالات النباتية التى تخزن فيه على درجة ٤,٤م (٤٠ف) ، و ٣٢٪ رطوبة نسبية ، ويمكن خفض درجة الحرارة فى ثلاث غرف من غرف المخزن إلى -١٢,٢م (١٠ف) إذا دعت الحاجة إلى ذلك .

ويقوم المخزن بحفظ القاعدة العريضة للمجموعات النباتية فى الولايات المتحدة ؛ مثل السلالات الرئيسية من الـ P.I.s ، والأصناف المنتجة حديثاً ، والأصناف التى لم تعد مستعملة فى الزراعة ، وسلالات الآباء لهجن النباتات الخلطية التلقيح ، وغيرها من السلالات المستعملة لأغراض الدراسات الوراثية ، أو كعوائل مفرقة differential hosts لسلالات المسببات المرضية ، أو لأغراض حفظ حقوق المربى فى الأصناف والسلالات المسجلة . ويحتفظ المخزن - حاليًا - بأكثر من ٢٠٤٠٠٠ سلالة نباتية من حوالى ٢٧٠ جنساً ، ونحو ١٩٦٠ نوعاً ؛ بغرض تخزينها فقط ؛ إذ ليس من مهامه توزيع السلالات على الراغبين فى الحصول عليها من مربى النبات ؛ لأن معظم السلالات التى توجد فيه توجد - أيضاً - فى أماكن أخرى ، وهى التى تقوم بمهمة التوزيع .

ونظراً لأن التخزين يكون تحت ظروف جيدة ، لذا .. فإن السلالات لاتعاد زراعتها لحفظ حيويتها إلا على فترات طويلة ، وهو ما يقلل كثيراً من احتمالات تغيرها وراثيًا . وتختبر حيوية البذور على فترات منتظمة ، وتتم إعادة الزراعة - عند الضرورة - فى المناطق المناسبة لكل محصول بتعاقدات خاصة مع المخزن . ومن مهام المخزن - أيضاً - مدّ المحطات ، والمراكز المسئولة عن المجموعات الأخرى بعينات صغيرة من السلالات التى تفقد لديهم .

تقوم مستودعات السلالات الخضرية الوطنية National Clonal Repositories بمهمة إكثار وإدامة عدد من النباتات ، التى تتكاثر – خضرياً – من الفاكهة ، والنقل ، ونباتات أخرى خاصة ، كما يدخل -أيضاً- ضمن مهامها جمع جيرمبلازم هذه النباتات من جميع أنحاء العالم وتقييمه . ومن هذه المستودعات تلك التى توجد فى المدن التالية :

أ- Corvallis بولاية أوريجون ، ويتولى مسئولية جيرمبلازم الكمثرى ، والبندق ، والثمار الصغيرة ، وحشيشة الدينار ، والنعناع .

ب- Davis بولاية كاليفورنيا ، ويتولى مسئولية جيرمبلازم العنب ، والفاكهة ذات النواة الحجرية ، والنقل .

جـ- Miami بولاية فلوريدا ، ويتولى مسئوليه جيرمبلازم بعض الفاكهة الاستوائية ، وشبه الاستوائية ، وقصب السكر .

د- Indio بولاية كاليفورنيا ، ويتولى مسئولية جيرمبلازم نخيل البلح .

هـ - Mayaguez فى بورتريكو(معهد مياجويز للزراعة الاستوائية Mayaguez Institute of Tropical Agriculture) ويتولى مسئولية الفاكهة الاستوائية والمحاصيل الصناعية .

توجد مجموعة الحبوب الصغيرة لوزارة الزراعة الأمريكية The USDA Small Grains Collection ضمن معهد وراثة وجيرمبلازم النباتات PGGI في Beltsville بولاية ميرلاند . وتضم المجموعة نحو ٩٠٠٠٠ سلالة من القمح ، والشعير ، والزمير ، والأرز ، والشيلم ، و *Aegilops* ، وتزيد مجموعة القمح وحدها على ٣٥٠٠٠ سلالة ، ومجموعة الشعير على ٢٥٠٠٠ سلالة .

أما المجموعات النباتية العملية Working Collections .. فهى مجموعات من جيرمبلازم محاصيل معينة ، والأنواع النباتية القريبة منها ، يُحْتَفَظُ بها لتلبية الاحتياجات اليومية لمربى النبات وغيرهم من علماء النبات الذين قد يرغبون فى استعمالها للأغراض البحثية . ويعنى جهاز جيرمبلازم النبات الوطنى NPGS بأن تسجل هذه المجموعات ، ويحتفظ بعينات منها فى مخزن البذور الوطنى . ويكون لكل مجموعة محصولية عالماً قيّماً عليها curator ، يتولى مسئولية المحافظة على السلالات ، وإعادة زراعتها عند الضرورة ، وحمايتها ، وتوزيع عينات منها على الراغبين فى استعمالها ، وتخزينها تحت ظروف جيدة

(درجة حرارة ٥,٥ْم ، ورطوبة نسبية ٤٠٪) ، أو إيداعها أحد مستودعات جيرمبلازم النباتات الخضرية التكاثر ، وتحديث قائمة سلالات المجموعة أولاً بأول .

وتوجد هذه المجموعات فى محطات الإدخال الإقليمية وغيرها من المحطات المهتمة بالمجموعات النباتية . ويكون القيّم مسئولاً عن إرسال فائض البذور المكثرة من كل سلالة إلى مخزن البذور الوطنى . وتحتفظ هذه المحطات بأعداد كبيرة من سلالات الأنواع المحصولية منها – على سبيل المثال – مايربو على ٦٠٠٠ سلالة فاصوليا ، و ٤٨٠٠ سلالة طماطم ، و ١٨٠٠ سلالة فلفل ، و ١٧٠٠ سلالة قاوون ، و ١٥٠٠ سلالة بسلة ، و ١٣٠٠ سلالة لوبيا (Hyland ١٩٧٥ ، Fehr ١٩٨٧) .

وتعتبر المجموعات النباتية التى بها جمعيات وتعاونيات المشتغلين بوراثة المحاصيل وتحسينها جزءاً هاماً من جهاز جيرمبلازم النبات الوطنى NPGS ، ويستفيد منها المشتغلون بهذه المحاصيل فى جميع أنحاء العالم لأغراض التعليم ، والبحث فى مجالات التربية ، والوراثة ، والسيتولوجى ، والفسيولوجى ، والوراثة الجزيئية . وقد سبق أن ذكرنا فى الفصل الأول أسماء معظم هذه التعاونيات ، ونذكر فيما يلى .. أعداد السلالات الوراثية genetic stocks ، التى تحتفظ بها بعضها :

المحصول	عدد السلالات المحتفظ بها	التعاونية الوراثية أو مكان وجود السلالات
الشعير	٣٠٠٠	قسم المحاصيل بجامعة ولاية كلورادو فى Fort Collins
القطن	٣٠٠	مختبر المحاصيل الحقلى بجامعة Texas A & M فى College Station
الشوفان	٢٠٠	مجموعة الحبوب الصغيرة فى Beltsville بولاية ميرلاند
البسلة	٥٠٠٠	قسم علوم البذور والخضر بمحطة تجارب ولاية نيويورك الزراعية فى Geneva .
الذرة	٥١٠٠٠	قسم المحاصيل بجامعة إلينوي في Urbana
الطماطم والأنواع البرية القريبة	١٧٠٠	قسم محاصيل الخضر بجامعة كاليفورنيا فى Davis
القمح	٦٠٠	جامعة ميسورى فى Columbia.

٣- نظام المعلومات Information System :

نظراً للكثرة الهائلة لأعداد السلالات المحتفظ بها ، والبيانات المسجلة عن كل منهـا ؛ لذا .. ظهرت الحاجة إلى تنمية نظام للمعلومات قائم على استعمال الحاسب الآلى ، وهو ماأدى إلى تكوين مشروع مـعلومات ثروة الجـيرمـبلازم Germplasm Resources In- formation Project ، الذى استكمل تكوين شبكة معلومات ثروة الجيرمبلازم Germ Plasm Resources Information Network

٤- المجموعات الاستشارية Advisory Groups :

يخدم عديد من المجالس واللجان كمجموعات استشارية لثروة الجيرمبلازم ، وهى كما يلى :

أ- مجـلس الـثروة الوراثـية النـباتية الوطـنى The National Plant Genetic Resources Board وهو يهتم بالجيرمبلازم على مستوى الدولة .

ب- لجنة جيرمبلازم النباتـات الوطنيـة The National Plant Germplasm Committee .

جـ- اللجان الفنية الإقليمية Regional Technical Committees على مستوى محطات الإدخال الإقليمية .

د- لجان المحاصيل الاستشارية Crop Advisory Committees على مستوى المحاصيل .

هـ- المجلس الدولى للثروة الوراثية النباتية IBPGR الذى يتبع المجموعة الاستشارية للبحث الزراعى الدولى (CGIAR) الذى يربط بين جهاز جيرمبلازم النبات الوطنى NPGS ، وشبكة الجيرمبلازم العالمية (Skardla ، ١٩٧٥ Hyland ١٩٧٥، Fehr ١٩٨٧) .

خطوات عملية إدخال النباتات

نقدم – فيما يلى- أهم الخطوات التى تتبع عادة عند البحث عن الجيرمبلازم وجمعه .

١- الحصر :

يلزم – أولاً – عمل حصر بتوزيع الاختلافات ، والمناطق المهددة بالتعرية الوراثية ،

واحتياجات مربي النبات ، والأنواع النباتية القريبة من المحصول المزروع . ويتطلب الأمر دراسة القرابة النباتية بين المحصول ، والأنواع الأخرى القريبة ، التى قد تكون مصدراً لصفات مهمة ، والعلاقة التطورية بين بعضها البعض ، ويعنى ذلك أن يكون القائمون على عملية الحصر على دراية تامة بتقسيم النبات ، والصفات المحصولية المعروفة والمطلوبة . كما يجب أن يشمل الحصر طرز «الحشائش» المحصولية أيضا ، التى كثيراً ما تستخدم كمصدر لصفات هامة ، خاصة المقاومة للآفات . ويعطى Leppik (1970) المراكز التى تتوفر فيها مصادر المقاومة لمختلف الأمراض النباتية . وإلى جانب الأنواع المزروعة والقريبة منها .. فإن جزءاً من الاهتمام يجب أن يوجه نحو الأنواع البرية التى لايستعملها الإنسان فى الوقت الحاضر . ورغم أن هذه الأنواع ربما لاتكون معرّضة -حاليًا- لخطر الاندثار .. إلا أن ذلك قد يحدث -مستقبلاً- فى الوقت الذى قد تستعمل فيه بعض هذه الأنواع - مستقبلاً - كغذاء ، أو فى الأغراض الصناعية .

٢- الاستكشاف والجمع :

تتم عمليتا الاستكشاف والجمع فى وقت واحد -عادة- إلا إذا تأخر الجمع لحين نضج الثمار ؛ حيث يعهد بعملية الجمع -حينئذ- إلى أحد الفنيين المقيمين فى المنطقة .ويجب أن تكون المهمة الرئيسية للمستكشف هى تمثيل الاختلافات الشاهدة تمثيلاً صادقاً بأقل عد من العينات ، مع أخذ كمية كافية من البذور أو الجزء النباتى المستخدم فى التكاثر فى كل عينة .

ويجب أن تشمل العينات جميع الطرز النباتية الموجودة فى المنطقة ، وألاّ يقتصر الاهتمام على النباتات ذات الصفات الجيدة الواضحة فقط . فكم من عينات لم يكن فى مظهرها ما يدل على وجود أية قيمة لها حينما جمعت ، ثم اتضحت أهميتها فيما بعد ، ونذكر - مثالاً على ذلك - سلالة القمح رقم P.I. 178383 ، التى جمعت من تركيا فى سنة ١٩٤٨ ، وكانت صفاتها تبدو رديئة ، فسيقانها طويلة ورفيعة وتميل إلى الرقاد بشدة ، وكانت قابلة للإصابة بصدأ الأوراق Leaf Rust ، ولاتتحمل برودة الشتاء ، ويصعب ارتباعها ، كما لم تكن صفات الخبز المصنع منها جيدة ؛ وكان من نتيجة ذلك أن أهملت هذه السلالة لمدة ١٥ عاماً ، إلى أن اكتشفت مقاومتها لأربع سلالات من الفطر المسبب للصدأ المخطط Stripe Rust ، الذى كان قد أصبح خطيراً فى شمال غرب الولايات

المتحدة آنذاك ، ثم تبين أنها مقاومة كذلك لخمس وثلاثين سلالة من الفطر المسبب للتفحم العادى Common Bunt ، وعشر سلالات من الفطر المسبب لمرض التفحم والتقزم Stunt Bunt ، كما تبين أنها ذات قدرة عالية على تحمل الإصابة بمرضى التفحم flag smut ، والعفن snow mould . وكان من نتيجة ذلك أن استعملت هذه السلالة فى عدد كبير من برامج التربية (عن Harlan١٩٧٥) .

ومن الأمور التى تجب مراعاتها ضرورة جلب بكتيريا العقد الجذرية الخاصة بالنباتات البقولية التى تستورد لأول مرة ؛ لأنه يوجد تخصص فسيولوجى بين الأنواع البقولية وأنواع بكتريا الجنس *Rhizobium* التى تعيش معها تعاونيًا . ويتم ذلك بفصل الجذور التى تكثر بها العقد الجذرية ، ثم تجفيفها بسرعة ، دون تعريضها للحرارة ، وحفظها فى حرارة منخفضة فى أوعية منفذة للرطوبة .

ويجب أن ترسل العينات التى يتم جمعها بالطائرة أولاً بأول ؛ حتى لاتتعرض للتلف بفعل العوامل الجوية ، أو بسبب الإصابة بالحشرات . وتعطى عناية خاصة للنباتات الخضرية التكاثر ؛ لأنها ربما لاتحتفظ بحيويتها لحين وصولها إلى محطة الإكثار ؛ فقد تجف ، أو تتعرض للإصابة بالعفن ، وقد ينتهى سكونها ، وتبدأ فى التزريع .

وقد تناول Sykes (١٩٧٥) موضوع جمع جيرمبلازم الفاكهة وحفظها من جميع الجوانب ، وتطرق إلى الاستشعار من بعد بطرق الرادار . والتصوير الجوى ؛ بغرض حصر توزيع الاختلافات ، ورصد التغيرات فى النموات الخضرية ، ومواعيد الإزهار ، ونضج الثمار ، وسقوط الأوراق ، كما ناقش المؤلف طرق الحفاظ على العُقَل ، ومنع جفافها لحين زراعتها ؛ بتعريضها للضباب الصناعى mist ، أو حفظها فى الثلاجات ... وغير ذلك من الطرق . وتعد مشكلة ضخامة المساحات -التى تلزم لزراعة النباتات التى يتم جمعها- من أكبر مشاكل الاحتفاظ بجيرمبلازم نباتات الفاكهة ، وهى المشكلة التى تناولها بالتحليل واقترح تطعيم نحو ٢٠٠ طعم من مختلف السلالات على كل أصل ؛ كحل لهذه المشكلة .

هذا .. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع كل من Bennett (١٩٧٠) بالنسبة لأسلوب تنظيم العمل وما يلزم من معدات ، و Leon (١٩٧٤) ، الذى تناول كيفية جمع جيرمبلازم عدد من النباتات الاستوائية و Harlan (١٩٧٥) الذى شرح - عن

خبرة – كيفية التجول ؛ للبحث عن الاختلافات الوراثية من النباتات التي تتكاثر جنسيًا ، و Hawkes (١٩٧٥) ، الذي تناول الموضوع بالنسبة للنباتات الخضرية التكاثر ، و Zagaja (١٩٨٣) الذى تناول جمع جيرمبلازم نباتات الفاكهة .

٣- طرق أخذ العينات Sampling Techniques :

يحدد المختصون الهدف عند أخذ العينات فى أن يمثل كل تركيب وراثى -يزيد تكراره فى العشيرة الطبيعية على ٥٪ -مرة واحدة على الأقل فى العينة ؛ بنسبة تأكد إحصائية تبلغ ٩٥٪ ، ويوصون بأخذ عينة مجمعة ، تتكون من بذور ٥٠-١٠٠ نبات معًا من كل موقع (حقل) يتم استكشافه ، على أن يمثل كل نبات فى العينة المركبة بخمسين بذرة ، وأن تختار النباتات بطريقة عشوائية تماماً . ورغم أنه يمكن قبول عينات قليلة متحيزة biased قد يرى المستكشف أنها متميزة مورفولوجياً .. إلا أنه لايمكن قبول العينات التى تكون متحيزة تماماً ؛ لأنه لايمكن تقدير قيمة وأهمية الاختلافات الوراثية المشاهدة بمجرد النظر إليها .

أما بالنسبة للنباتات التى تتكاثر بالدرنات .. فإنه يفضل أخذ عينات عشوائية ممثلة لكل الاختلافات المشاهدة من أسواق القرى مباشرة ، على اعتبار أن المزارعين قد قاموا – بأنفسهم – بانتخاب أكثر الطرز تأقلماً على الظروف البيئية السائدة ، وأكثرها مقاومة للآفات الهامة . ويجب فى حالة جمع عينات النباتات الخضرية التكاثر من الحقل مباشرة عدم تركيز البحث فى منطقة واحدة ؛ حتى لاينتهى الأمر إلى جمع نباتات من سلالة خضرية واحدة .

ويمكن – إن أمكن – جمع بذور النباتات الخضرية التكاثر ، إلا أن ذلك لايتيسر فى كثير من الأحيان ؛ فهى – غالباً – ماتكون عقيمة ، أو عديمة التوافق ، وكثير منها لاينتج بذوراً بالمرة .

٤- التوثيق الحقلى Field Documentation :

يجب تحضير نماذج ملائمة ، تملأ فى الموقع بالبيانات الخاصة بكل عينة يتم جمعها . ويراعى – فى هذه النماذج – ألا تكون مفصلة أكثر من اللازم ؛ حتى لايضيع الوقت فى

ملئها . ومن أهم البيانات التى يجب أن يتضمنها النموذج : اسم القائم بعملية الجمع ، ورقم العينة ، والاسم العلمى للنبات ، والاسم العادى للنبات ، واسم المقاطعة أو البلد ، وخطا الطول والعرض للموقع ، وتاريخ الجمع ، وارتفاع الموقع عن سطح البحر ، ورقم الصورة التى التقطت للنبات ، ونوع العينة النباتية (بذور أو أجزاء خضرية مختلفة) ، وحال النبات (برى - صنف مزروع - حشيشة محصولية ... إلخ) ، وتقدير عام لمعدل ظهور النبات فى الموقع ، والصفات العامة المميزة المشاهدة ، والمميزات المحتملة للعينة .

٥- الإدخال :

إن عملية إدخال النباتات تتطلب المرور بالحجر الزراعى ؛ للتأكد من خلوها من الآفات الممنوع دخولها . ويتطلب ذلك عمليات الفحص الظاهرى ، وزراعتها فى معزل ؛ للتأكد من خلوها من الأمراض وزراعة الأجزاء الخضرية تحت ظروف خاصة من العزل ، مع فحصها فحصاً دقيقاً . وللتفاصيل الخاصة بإجراءات وعمليات الحجر الزراعى عند إدخال النباتات .. يراجع كل من : Khan (١٩٧٠) ، و Hewitt & Chiarappa (١٩٧٧) . كما يعطى Foster (١٩٨٨) شرحاً للنظم المتبعة فى استبعاد الآفات من العينات النباتية المتبادلة دوليًا

إكثار الجيرمبلازم وتقييمه

تقع مهمة إكثار الجيرمبلازم وحفظه على عاتق محطات الإدخال ، ومعاهد ومراكز البحوث الدولية والإقليمية والوطنية ، وتعاونيات الوراثة والتربية ، ومستودعات النباتات الخضرية التكاثر المسئولة عن المجموعات المحصولية المختلفة ؛ فتكون هى المسئولة -أولاً وأخيراً -عن بقاء السلالات -الموجودة لديها- نقية ، ومحتفظة بحيويتها . ويتحقق ذلك بتخزين بذور السلالات الجنسية التكاثر فى ظروف مثلى للتخزين ؛ بحيث يمكن أن تحتفظ بحيويتها فترات طويلة ، تزيد على عشر سنوات عادة ، مع اختبار حيويتها على فترات ؛ بحيث تعاد زراعتها وإكثارها قبل أن تنخفض نسبة إنباتها بشكل حاد ؛ حتى لاتفقد نهائيًا . كما تعاد -أيضاً- زراعة وإكثار السلالات ، التى يقل رصيد المخزون منها عن حد معين ؛ بسبب كثرة الطلب عليها من قبل المربين .

وبينما يسهل إكثار النباتات الذاتية التلقيح فإن النباتات الخلطية التلقيح تكون مشكلة كبيرة ؛ بسبب الأعداد الهائلة من السلالات التى يلزم إكثارها من جانب ، وبسبب انتشار

ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى كثير من أنواعها ، أو التدهور فى نباتاتها مع التربية الداخلية من جانب آخر . ويتم التغلب على هذه المشاكل إما بإجراء التلقيح صناعيًا بين نباتات السلالة الواحدة (كما فى القرعيات ، والذرة ، وأنواع الجنس *Lycopersicon* غير المتوافقة ذاتياً على سبيل المثال) ، وإما بوضع عدة نباتات تحت شبكة غير منفذة للحشرات ، وإدخال بعض الحشرات النظيفة من حبوب اللقاح للقيام بعملية التلقيح . وتتبع هذه الطريقة مع بعض المحاصيل الحشرية التلقيح (كالبصل ، والجزر ، والكرفس) .

أما المحاصيل الخضرية التكاثر .. فإنه يحافظ عليها – غالبًا – على صورة خضرية فى مستودعات الجيرمبلازم ومراكز البحوث الخاصة بها . وتمثل الإصابات الفيروسية مشكلة كبيرة بالنسبة للنباتات النامية ، ويتم التخلص منها بإكثار النباتات عن طريق مزارع القمة الميرستيمية . وقد يمكن حفظ جيرمبلازم هذه النباتات بالتخزين بطرق خاصة تحت ظروف معينة – كما سيأتى شرحه فيما بعد – بدلاً من استمرار زراعتها .

وإلى جانب الإكثار والحفظ .. فإن المعاهد ، والمراكز ، والمحطات ، والمستودعات ، والتعاونيات التى سبق بيانها تقوم بدور رئيسى فى تقييم الجيرمبلازم – الذى فى حوزتها – للصفات المورفولوجية الظاهرة ، والصفات المحصولية أو البستانية المهمة ، أما صفات المقاومة للآفات والصفات الفسيولوجية غير الظاهرة التى يحتاج تقييمها إلى اختبارات خاصة .. فإن مهمة تقييمها تقع على عاتق مربى النبات ، أيًا كان موقعهم ؛ لذا .. فإن المؤسسات التى تحتفظ بالجيرمبلازم غالبًا ماترحب بإرسال عينات منها لكل من يرغب من العلماء والمختصين ؛ لتقييمها أو لإجراء الدراسات الوراثية ، أو السيتولوجية ، أو الفسيولوجية عليها .

وتجدر الإشارة إلى ضرورة الاستمرار فى حفظ جميع سلالات الجيرمبلازم ، حتى إن لم يجد مربو النبات فيها ضالتهم من الصفات التى يرغبون فى إدخالها ضمن برامج التربية ؛ ذلك لأن مالاقيمة له اليوم .. قد تكون له أهمية كبيرة فى المستقبل ، خاصة أن أهداف التربية تتغير على الدوام .

ولمزيد من التفاصيل عن الأنشطة الدولية ، والمؤسسات الوطنية والدولية العاملة فى مجال تقييم الجيرمبلازم .. يراجع Sneep & Hendriksen (١٩٧٩) .

حفظ الجيرمبلازم فى البيئة الطبيعية

لاشك فى أن أفضل وسائل حفظ الجيرمبلازم تتم بتوفير المحميات المناسبة له فى البيئة الطبيعية *in situ* ؛ لحمايته من الانقراض ؛ حيث تتكاثر النباتات وتُلَقَّح خلطيًا مع بعضها ، وتحدث فيها الطفرات بشكل طبيعى .. وبينما قد يمكن تطبيق هذه الطريقة بالنسبة للأنواع التى يخشى عليها من الانقراض – وهو أمر ممكن ومطلوب فى هذه الحالة – فإن تطبيقها غير ممكن ، وغير مطلوب بالنسبة للأنواع التى تنتشر زراعتها على نطاق واسع ؛ فهو أمر غير ممكن نظراً للتكاليف الباهظة التى يتطلبها حفظ الجيرمبلازم بهذه الطريقة . حيث تتطلب توفير مساحات كبيرة من المحميات الطبيعية فى المناطق الجغرافية التى تنتشر فيها الأنواع التى يراد حفظها ، كما لا يعد حفظ الأنواع الواسعة الانتشار بهذه الطريقة أمراً مرغوباً فيه لأنه لن يمكن الاحتفاظ إلا بعدد قليل من الاختلافات الوراثية ، التى تتوفر منها فى الطبيعة ، هذا فضلا عن احتمال تعرضها للإصابة بالأوبئة . وتتم الطريقة الأخرى لحفظ الجيرميلازم بالتخزين *ex situ* .

حفظ جيرمبلازم النباتات الجنسية التكاثر بالتخزين

تختلف الطرق المتبعة فى تخزين تقاوى المحاصيل الزراعية التى تستخدم فى الزراعة لسنة أو سنوات قليلة عن تلك التى تتبع فى حفظ الجيرمبلازم وتخزينه لسنوات عديده ؛ سواء أكان الجيرمبلازم على صورة بذور ، أم أجزاء خضرية ، أم مزارع أنسجة ، أم أى جزء نباتى آخر . ومن أهم مزايا حفظ الجيرمبلازم لفترات طويلة مايلى :

١– توفير نفقات إعادة زراعة السلالات على فترات متقاربة قبل أن تفقد حيويتها .
٢– تجنب احتمالات الخلط الميكانيكى لبذور السلالات عند إعادة إكثارها .
٣– تجنب – أو تقليل – احتمال حدوث أى تغير وراثى فى مجمع الجينات gene pool الأصلى للسلالة ، الأمر الذى قد يحدث عند إكثارها من وقت لآخر (عن Stanwood & Roos ١٩٧٩) .

تخزين البذور فى درجات الحرارة المنخفضة

يفضل تقسيم مجموعات الجيرمبلازم البذرية – حسب ظروف التخزين المناسبة – إلى فئتين .

١- المجموعات الأساسية Base Collections :

تخزن بذور المجموعات الأساسية لمدة طويلة ، تحت ظروف مثلى من الحرارة والرطوبة ، لاتستعمل هذه المجموعات في التوزيع ، وتختبر حيويتها ، على فترات منتظمة ، ويجب أن يخزن من كل سلالة كمية من البذور ، تكفي الاحتياجات المتوقعة منها لاختبارات الإنبات خلال فترة التخزين ، ثم إعادة الزراعة حينما يحين وقت ذلك ، وبرغم وجود عينات صغيرة منها لاختبارات الإنبات الدورية .. فإن الجزء الأكبر يبقى في أوعية غير منفذة للرطوبة ، لاتفتح إلا عند إعادة الزراعة التي تكون عند انخفاض نسبة الإنبات إلى ٨٠ - ٨٥٪ من النسبة الأصلية ، ويوصى بتخزين هذه البذور في درجة حرارة -١٨م° ، أو أقل من ذلك في أوعية غير منفذة للرطوبة ، مع خفض رطوبة البذور قبل التخزين إلى ٥ ±١٪ على أساس الوزن الرطب ؛ وهو ما يعني أن هذه الظروف لاتصلح لتخزين البذور التي تفقد حيويتها عند التجفيف . كما يجب توفر أجهزة توليد كهرباء إضافية ؛ لتعمل تلقائيا عند انقطاع التيار .

٢- المجموعات النشطة : Active Collections :

تخزن بذور المجموعات النشطة لفترات متوسطة المدى ، وهي التي تستعمل في الإكثار ، والتوزيع ، والتقييم . ويعد الحد الأدنى المقبول - من الظروف التي تلزم لتخزين هذه المجموعات - درجة حرارة ٥م° ، مع خفض رطوبة البذور قبل التخزين إلى ٥ - ٧٪ ، وحفظها إما في أوعية غير منفذة للرطوبة ، وإما في أوعية منفذة للرطوبة . لكن مع مراعاة الا تزيد الرطوبة النسبية في جو المخزن على ٢٠٪ وتحفظ بذور المجموعة النباتية - التي توجد في مخزن البذور الوطني في الولايات المتحدة - على حرارة ٤,٤°م (٤٠°ف) ، مع رطوبة نسبية ٣٢٪ في غير أوعية منفذة للرطوبة (عن Justice & Bass ١٩٧٩م) . كما تحفظ بذور بعض السلالات على درجة حرارة ١٢-١٠° م تحت الصفر ، في أوعية منفذة للرطوبة . وتختبر حيوية السلالات المخزنة كل خمس سنوات ، حيث تكثر من جديد إذا وجد أن نسبة إنباتها قد انخفضت عن حد معين (Hartmann & Kester ١٩٨٣) . ولمزيد من التفاصيل عن حفظ الجيرمبلازم بتخزين البذور فترات طويلة في الحرارة المنخفضة .. يراجع Harrington (١٩٧٠) ، و Roberts (١٩٧٥) ، و Bass (١٩٨٠) .

حفظ البذور بالتجفيد

مازال حفظ البذور بالتجفيد freeze - drying فى مرحلة الدراسة والبحث . يراعى عند اتباع هذه الطريقة .. أن تجفف البذور – أولا – بالطرق العادية إلى أن تنخفض نسبة رطوبتها إلى ١٠٪ ثم تجفف بالتجفيد (أى بالتبريد إلى درجة حرارة أقل من الصفر ، مع التجفيف تحت التفريغ فى آن واحد) إلى أن تنخفض رطوبتها إلى ٥٪ ثم تخزن – بعد ذلك – فى أوعية غير منفذة للرطوبة . تحتفظ البذور المجففة بهذه الطريقة بحيويتها لسنوات عديدة ، فى درجة حرارة الغرفة ، ولمدد غير محدودة ، إذا خزنت فى حرارة التجمد (عن مجلة HortScience – العدد الثانى – المجلد ٢١ لعام ١٩٨٦) .

حفظ البذور وهى مشبعة بالماء

وجد أن بذور بعض النباتات يمكن أن تحتفظ بحيويتها – لفترات طويلة – وهى مشبعة بالماء imbibed ، مع حفظها فى ظروف لاتسمح باستمرار الإنبات . ويحاول الإنسان – بذلك – محاكاة الطبيعة حينما تتشبع البذور التى توجد تحت أشجار الغابات بالماء ؛ ولكنها لاتباشر الإنبات ، لوجودها تحت غطاء سميك من البقايا النباتية غير المتحللة والمتحللة جزئياً ، ولكثافة الغطاء النباتى الذى يقلل كثيرا من وصول الضوء إليها . وربما تصلح هذه الطريقة لتخزين بذور الأنواع النباتية التى يتدهور إنباتها عند تجفيفها . ولمزيد من التفاصيل عنها .. يراجع Villiers (١٩٧٥) .

حفظ البذور فى النيتروجين السائل

لايوجد أى ضرر يمكن أن يحدث للبذور عند تعرضها لدرجات الحرارة الشديدة الانخفاض حتى لو خزنت على درجة الحرارة المطلقة (وهى – ٢٧٣°م) مادام محتوى البذور الرطوبى منخفضاً ، أما البذور ذات المحتوى الرطوبى المرتفع فإنها تضار– بشدة – إذا تعرضت لدرجة التجمد ، ويتناسب مدى الضرر الحادث – طردياً – مع نسبة الرطوبة فى البذور ، ويظهر فى صورة تدهور شديد فى نسبة الإنبات ؛ وبذا .. فإن هذه الطريقة لاتصلح لتخزين البذور التى تفقد حيويتها عند التجفيف (recalcitrant seeds) ؛ كبذور الموالح ، والبن ، والكاكاو ، والمطاط ، ونخيل الزيت ، وجوز الهند .

ويوفر النيتروجين السائل درجة حرارة منخفضة ، مقدارها – ١٩٦°م ، وهى درجة

تتوقف عندها كل العمليات الحيوية التى تقود إلى تدهور حيوية البذور ' فإذا تحملت بذور أى نوع نباتى التعرض لهذه الدرجة الحرارية - ولو لفترة قصيرة - ثم تحملت تدفئتها إلى درجة حرارة الغرفة بعد ذلك ، فإنها يمكن أن تُحْفَظَ بحالة جيدة فى النتيروجين السائل لفترات غير محدودة .

ولتخزين البذور فى النيتروجين السائل .. تجب مراعاة ما يلى :

١- تجفف البذور - أولا - إلى درجة منخفضة من الرطوبة (حوالى ٥٪ على أساس الوزن الرطب) .

٢- توضع البذور فى أوعية ألومنيومية ، أو بلاستيكية ذات غطاء .

٣- تغمس الأوعية - بما فيها من بذور - فى النيتروجين السائل .

٤- وتنقل الأوعية - بما فيها من بذور - بعد انتهاء فترة التخزين ، من النيتروجين السائل إلى جو الغرفة مباشرة دون المرور بمراحل وسطية من درجات الحرارة (عن Sakai & Noshiro ١٩٧٥) .

وقد قام Stanwood & Roos(١٩٧٩) بتخزين بذور ١٤ نوعا من الخضر فى النيتروجين السائل لفترات : أسبوع ، وشهر ، وستة شهور - وهى فى أكياس ورقية - وتراوحت نسبة الرطوبة فى البذور المخزنة من ٥ - ٩٪ . وقد تبين من النتائج التى حصل عليها (جدول ٥ - ٢) أن تخزين البذور فى النيتروجين السائل ، ثم إعادة إخراجها منه لم يكن له أى تأثير ضار على نسبة الإنبات ، كما لم تتأثر نسبة إنبات البذور بعد تخزينها لمدة ستة شهور . وقد قام الباحثان - كذلك - بدراسة تأثير حفظ بذور الفاصوليا والبسلة ، والخس فى النيتروجين السائل لمدة أسبوع على قوة الإنبات Vigor ، ولم يجدا أى تأثير للمعاملة على وزن السويقة الجنينية العليا epicotyl ، أو وزن البادرة بعد ثمانية أيام من بدء اختبار الإنبات .

ولمزيد من التفاصيل عن مشاكل حفظ الجيرمبلازم فى النيتروجين السائل .. يراجع Sakai & Nashiro (١٩٧٥) .

جدول (٥-٢) : تأثير تخزين بذور بعض محاصيل الخضر فى النتيروجين السائل على نسبة الإنبات .

المحصول	نسبة رطوبة البذور (٪)	نسبة الإنبات الأولية (٪)	الإنبات (٪) بعد الحفظ فى النيتروجين السائل لمدة		
			أسبوع	شهر	٦ شهور
الفاصوليا	٧	١٠٠	–	١٠٠	–
البنجر	٦,٣	٩٦	٩٦	٩١	–
الكرنب	٦,٢	٩٨	٩٤	٩٥	٩٣
القاوون	٥	٩٠	٨٩	٨٩	٩٢
الجزر	٦,١	٨٧	٨٢	–	–
الخيار	٥,١	٩٥	٩٤	٩٥	٩٢
الباذنجان	٦,٢	٩٥	٩٥	٩٤	٩٢
الخس	٨,٠	٩٩	٩٩	٩٩	–
البصل	٦,٢	٩٨	٩٩	٩٩	٩٨
البسلة	٧,٢	٩١	–	٩٦	–
الفلفل	٦,٢	٩٣	٩١	٩٥	٩٣
الكوسة	٦,٧	٨٢	٧٣	٧٧	٧٩
الطماطم	٥,٣	٩١	٩٦	٩٢	٩٣
البطيخ	٩	٩٤	٩٥	–	–

حفظ جيرمبلازم النباتات الخضرية التكاثر

تتبع عدة طرق فى حفظ جيرميلازم النباتات التى تتكاثر خضريا ، منها مايلى :

١- الإكثار الخضرى :

يتطلب حفظ الجيرمبلازم - بطريق الإكثار الخضرى - إعادة زراعة السلالات الخضرية سنويا بالنسبة للمحاصيل الحولية مثل البطاطس ، وكل عدة سنوات بالنسبة للمحاصيل المعمرة . وفضلاً عن أن هذه الطريقة تعد مكلفة للغاية ، وتتطلب جهداً كبيراً ، ومساحات كبيرة لتنفيذها .. فإن الجيرمبلازم يتعرض للإصابة بالأمراض الفيروسية التى تلازمه بعد ذلك ، مما يتطلب جهوداً كبيرة إضافية ؛ للمحافظة عليه .

٢- تخزين الطعوم :

يمكن تخزين الطعوم scions التى تؤخذ من السلالات الخضرية فى درجة حرارة ، تتراوح من الصفر إلى ٥° م ، ولكن يعاب على هذه الطريقة أن فترة التخزين لا تدوم سوى بضعة شهور ، أو سنوات قليلة .

٣- تخزين بذور السلالات الخضرية :

برغم أن البذور الحقيقية (الجنسية) لاتعطى - عند زراعتها - نباتات مشابهة للسلالات الخضرية التى أخذت منها .. إلا إنها تحتوى على جميع الجينات ، التى يظهر تأثيرها فى السلالة الخضرية . وتتبع هذه الطريقة - حاليا - فى حفظ سلالات بعض المحاصيل الخضرية التكاثر ؛ مثل البطاطس . ولقد وجد Barker & Johnston (١٩٨٠) أن بذور البطاطس الحقيقية يمكن تخزينها لمدة ١٠ سنوات تحت الظروف العادية ، دون أن يحدث لها أى نقص فى نسبة - أو قوة - الإنبات ، كما ظلت نسبة إنبات البذور عالية بعد ١٥-٢٠ سنة من التخزين ، إلا أنها كانت أبطأ فى الإنبات ، وأقل فى قوة نمو البادرات . وكما هى الحال بالنسبة لبذور النباتات التى تتكاثر جنسيًا .. فإن بذور السلالات الخضرية يمكن أن تُخزَّن فى النيتروجين السائل (Cryptopreservation) لأمد بعيد .

وتتميز طريقة حفظ جيرمبلازم النباتات الخضرية التكاثر بتخزين البذور بسهولتها وقلة تكلفتها ، كما تفيد فى التخلص من العدد الأكبر من الفيروسات التى تصيبها ؛ إذ لاتنتقل بطريق البذور سوى نسبة قليلة جداً من الفيروسات ؛ بالإضافة إلى سهولة نقل الجيرمبلازم بهذه الطريقة من دولة إلى أخرى (Foldo ١٩٨٧) .

٤- تخزين حبوب اللقاح :

يمكن تخزين حبوب لقاح السلالات الخضرية ؛ إما فى درجات الحرارة المنخفضة ، وإما فى النيتروجين السائل . ويعاب على الاعتماد على حبوب اللقاح - فى حفظ الجيرمبلازم - أنها لاتمثل سوى نصف الجينات التى يحملها الفرد ، فهى لابد أن تستخدم فى تلقيح نباتات أخرى من نفس النوع لدى إخراجها من المخازن ، نظرا لعدم توفر الطور الجاميطى المؤنث لنفس السلالة حينئذ .

٥- تخزين مزارع القمة الميرستيمية :

تتميز طريقة خفظ جيرمبلازم السلالات الخضرية - على صورة مزارع أنسجة - بإمكان تخزين أعداد ضخمة من السلالات فى حيز بسيط ، مقارنة بالزراعة الحقلية . فيمكن - على سبيل المثال - تخزين ٨٠٠ سلالة عنب ؛ بواقع ٦ مكررات لكل منها فى مساحة ٢م٢ ، مقارنة بالحاجة إلى نحو هكتار من الأرض لزراعة نفس العدد من النباتات . ويعاب على هذه الطريقة أن إنتاج مزارع الأنسجة يتطلب وقتاً طويلاً ، كما أن زراعة النباتات بعد ذلك تتطلب وقتا طويلاً أيضا حتى تزهر وتثمر . ولاتخفى علينا الأخطار التى تواجه مجموعات الجيرمبلازم المخزنة من جراء الكوارث الطبيعية ، أو انقطاع التيار الكهربائى أو الإصابة ببعض آفات المزارع ، مثل العناكب mites (Brooks & Barton ١٩٨٣) .

وتعد مزارع القمة النامية الميرستيمية أفضل مزارع الأنسجة لحفظ جيرمبلازم السلالات الخضرية . وتكون النباتات المتحصل عليها - بهذه الطريقة - صغيرة جدا ، وأوراقها دقيقة ، وسيقانها رفيعة للغاية . وبرغم أن نموها يكون سريعاً فى البداية إلا أنه يصبح بطيئاً بمجرد استنفاد العناصر المغذية فى بيئة الآجار ، وتبقى النباتات حية على هذه الصورة - دون نمو يذكر - لعدة شهور . ويمكن استمرار حفظها فى أنابيب الاختبار على بيئة مغذية لمدد غير محدودة ، بتجديد المزارع كل ٦ أشهر إلى١٢ شهراً ؛ ويجرى ذلك بقطع أجزاء صغيرة من المزارع ، تحتوى كل منها على عقدة من الساق ، والورقة التى توجد عندها ، ثم نقلها إلى مزارع جديدة .

تتبع طريقة مزارع القمة الميرستيمية على نطاق واسع لإكثار وحفظ سلالات العنب . تزرع القمة النامية لساق العنب فى أنابيب اختبار تتوافر بها بيئةمغذية ، تحتوى على تركيز مرتفع من أيون البوتاسيوم ، وتركيز منخفض (٠.١ جزءاً فى المليون) من منظم النمو إندول حامض الخليك IAA . تحفظ الأنابيب فى حرارة ٢٠°م ، وتعرض لإضاءة ضعيفة (٣٠٠ lux) لمدة ١٢ ساعة يومياً . تنمو الساق ، وتتكون الجذور فى خلال ٢٠ يوماً ، ويعقب ذلك نقل النباتات الصغيرة Plantlets إلى بيئة تحتوى على تركيز أقل من أيون البوتاسيوم (مثل محلول نوب Knop المغذى) ، وخالية من الأوكسين ، حيث يصل طولها إلى نحو ١٠ سم فى حوالى ١٠ شهور ، ويمكن إكثار هذه النباتات بعد ذلك بالعقل

الساقية ؛ حيث تؤخذ النباتات الصغيرة من أنبوبة الاختبار ، وتقطع إلى أجزاء صغيرة يحتوى كل منها على عقدة وورقة ، وتنقل هذه الأجزاء – بعد ذلك – إلى بيئة جديدة ، فى درجة حرارة ٢٠°م ؛ حيث تنتج كل منها نباتاً جديداً فى غضون ٥٠ يوماً ، ثم تنقل – بعد ذلك – إلى حرارة ٩م° ؛ حيث يقل معدل نموها تدريجياً إلى أن يتوقف . وبرغم توقف نمو النباتات إلا أنها تبقى حية . ولو أخذت منها عقل بعد فترات طويلة تصل إلى ٢٩٠ يوماً ، ووضعت فى بيئة جديدة فى حرارة ٢٠°م .. فإنها تبدأ فى النمو فى الحال ، وهو ما يعنى إمكان حفظ النباتات بهذه الطريقة ، مع إعادة زراعتها فى بيئة جديدة سنوياً .

تتميز مزارع القمة الميرستيمية بإمكان استخدامها فى الإكثار الخضرى ، وإنتاج أعداد هائلة من النباتات فى فترة قصيرة ، فيمكن – فى حالة مزارع العنب – الحصول على ٥ أجزاء cuttings من النباتات الصغيرة شهرياً ، وهذا يعنى أنه يمكن إنتاج أكثر من ١٠ مليون نبات صغير من قمة ميرستيمية واحدة فى السنة (تسمى السلالات المنتجة بهذه الطريقة mericlones) . وفضلاً على أن مزارع القمة الميرستيمية تكون خالية من الإصابات الفيروسية .. فإن بقاءها فى بيئة معقمة يحميها من التعرض للإصابة بالفيروسات أو الآفات الأخرى . وتعد هذه المزارع مناسبة لحفظ جيرمبلازم النباتات التى لاتتحمل بذورها التجفيف ، وهى التى لايمكن أن تخزن بذورها . كما تتوفر النباتات الصغيرة طوال العام ، ويمكن نقلها من دولة إلى أخرى دون مشاكل فى الحجر الزراعى .

هذا .. ويلاحظ أن معظم النباتات الصغيرة تعطى – عند زراعة ميرستيمها القمى فى بيئات مغذية – نموات تشبه الكالوس Callus-like outgrowth ، أو سيقاناً مشوهة ، وصفراء ، ولايحدث التميز differentiation إلا عند توفر بعض المواد فى البيئة ، وأهمها حامض الجبرلليك بتركيز ٠.١ جزءاً فى المليون وأيون البوتاسوم بتركيز مرتفع يصل إلى ١٠ مللى مكافئ / لتر ؛ مقارنة بتركيز ٠.٨ مللى مكافئ / لتر فى بيئة White ، و ٢.١ مللى مكافئ / لتر فى بيئة Gautkeret ، وهى بيئات تستعمل فى مزارع الأنسجة الأخرى (Morel ١٩٧٥) .

وقد تمكن العلماء – بنجاح – من حفظ مزارع القمة الميرستيمية لبعض النباتات فى النيتروجين السائل على درجة – ١٩٦°م (Cryptopreservation) ؛ فمثلا .. تمكن Reed & Lagerstedt (١٩٨٧) من حفظ القمم الميرستمية لخمس سلالات من الـ *Rubus* .

تنتمى لأربعة أنواع ؛ بتبريدها ببطء ؛ بمعدل ٨ و٠ °م كل دقيقة إلى أن وصلت حرارتها إلى – ٤٠ °م ، ثم بردت بسرعة – بعد ذلك – حتى – ١٩٦ °م فى وجود مواد حامية cryptoprotectants . وقد أمكن – بعد ذلك تبريدها بسرعة إلى درجة حرارة الغرفة ، واستعادت القمم الميرستيمية نموها فى بيئة آجار بعد ذلك ، إما بشكل منتظم ، وإما فى صورة كالوس ، وقد كانت أفضل المواد الحامية خليطاً من البلوليثليين جليكول ، والجلوكوز ، والـ dimethylsulfoxide . ولمزيد من التفاصيل عن تخزين جيرمبلازم السلالات الخضرية .. يراجع Henshaw وآخرون (١٩٨٠) بخصوص تخزين مزارع أنسجة البطاطس ، و Withers (١٩٨٠ ، ١٩٨٥) بالنسبة لحفظ مزارع الخلايا والأنسجة فى النيتروجين السائل ، و Brooks & Barton(١٩٨٣) ، و Towill (١٩٨٨) .

التغيرات الوراثية المصاحبة لتخزين الجيرمبلازم

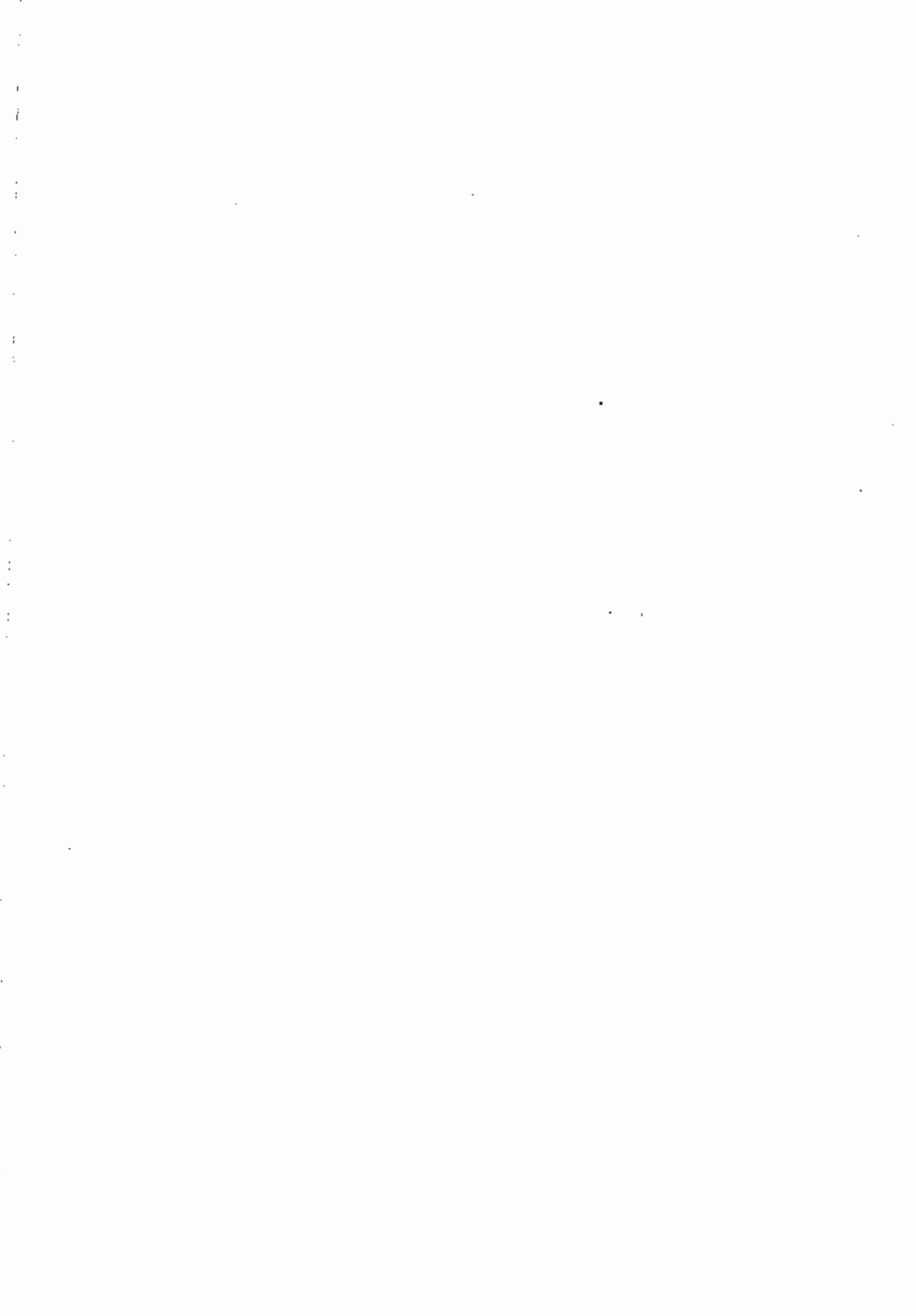
يصاحب تخزين الجيرمبلازم – عادة – نوعان من التغيرات الوراثية ، هما : التغيرات الوراثية التى تحدث بشكل تلقائى ؛ مثل الطفرات العاملية ، والتحورات الكروموسومية ، والتغيرات التى تحدث فى الجينات gene pool ؛ نتيجة الانحراف الوراثى genetic drift وما قد ينتج عنه من تغيرات فى نسب الجينات ، أو فقدان بعضها. هذا .. ويحدث استبعاد تلقائى لحالات التحورات الكروموسومية ؛ لفشل الانقسام الطبيعى فى الخلايا التى تحدث فيها تلك التحورات ، وبذا .. فإن النباتات التى توجد فيها هذه التحورات لاتشترك فى إنتاج البذور للجيل التالى ، أما الطفرات العاملية .. فإنها تعد مفيدة ، وتسهم فى زيادة الاختلافات الوراثية فى الجيرمبلازم . أما الانحرافات الوراثية ، واستعمال عينات صغيرة من البذور فى إكثار السلالات .. فإنها تسهم بشكل خطير فى تغيير نسب الجينات فى العشيرة ، وهو أمر يجب تجنبه تماماً . ولمزيدٍ من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Roos (١٩٨٨) .

مصادر إضافية

سبقت الإشارة إلى عديد من المصادر التى تتناول شتى جوانب عملية استكشاف الجيرمبلازم وجمعه ، وتقييمه ، وتوثيقه ، وحفظه . وبالإضافة إلى ما تقدم .. فإن المراجع التالية تتناول الموضوع بشكل عام ، وتغطى كافة جوانبه ، ويفيد الرجوع إليها فى معرفة

مزيد من المعلومات ، وهى : Frankel & Bennett (١٩٧٠) ، و Creech & Reitz (١٩٧١) ، و Frankel & Hawkes (١٩٧٥) ، و Hawkes (١٩٨١ ، و ١٩٨٣) ، و Amer Soc. Hort . Sci. (١٩٨٨) .

القسم الثانى
طــرق التربية



الفصل السادس

التحسين الوراثى بالانتخاب

تعتبر عملية الانتخاب selection هى الركيزة الأساسية للتحسين فى أى برنامج للتربية ، وتعتمد جميع طرق التربية بالانتخاب المباشر على توفر الاختلافات الوراثية بين أفراد العشيرة النباتية بصورة طبيعية ؛ وكل ما يفعله المربى هو انتخاب التراكيب الوراثية المناسبة التى تتوفر فيها الصفات المرغوبة وإكثارها ؛ لتصبح صنفاً جديداً قائماً بذاته . أما طرق التربية التى تعتمد على التهجين مع الانتخاب .. فإن المربى يسعى بنفسه لتأمين الاختلافات التى تتكون كانعزالات وراثية عقب قيامه بالتهجين بين أفراد تختلف – وراثياً – عن بعضها البعض .

انتخاب الصفات البسيطة فى العشائر الذاتية التلقيح

تعتبر عملية انتخاب الصفات البسيطة فى عشائر النباتات الذاتية التلقيح سهلة وميسورة . فسواء أكانت الصفات المرغوبة سائدة ، أم متنحية .. فإنها توجد – دائما – بحالة أصيلة فى عشائر النباتات الذاتية التلقيح ؛ ويكون من السهل تمييز الأفراد الحاملة للجينات التى تتحكم فى هذه الصفات ، خاصة عندما تكون درجات توريثها مرتفعة ، وهو ما تتميز به غالبية الصفات البسيطة .

ويؤدى انتخاب الأفراد الحاملة للصفات المرغوبة إلى تكوين عشائر جديدة محسنة . وتكون مهمة المربى – بعد ذلك – مقارنة العشائر الجديدة بالعشيرة الأصلية ، وبالأصناف

التجارية الشائعة فى الزراعة ؛ للتأكد من تفوق إحداها أو بعضها قبل إطلاق زراعتها كصنف جديد .

تطبيق قانون هاردى - فينبرج على الإنتخاب فى العشائر الخلطية التلقيح

يؤثر الانتخاب لصفة ما على توازن هاردى - فينبرج فى عشائر النباتات الخلطية التلقيح ، وذلك على النحو التالى :

١- حالة السيادة التامة مع الانتخاب ضد الأفراد المتنحية الأصيلة :

سبقت مناقشة تأثير الانتخاب ضد صفة بسيطة متنحية فى نسب التراكيب الوراثية المختلفة فى عشائر النباتات الخلطية التلقيح (يراجع لذلك موضوع قانون هاردى - فينبرج فى الفصل الثالث) . ونبين فيما يلى تأثير عملية الانتخاب على توازن هاردى - فينبرج .

إذا كانت النسب الأولية للآليلين A_1 ، و A_2 (وهما آليلان للجين A) فى العشيرة هى p ، و q على التوالى ، وكانت A_1 سائدة على A_2 ، وكان معامل الانتخاب coefficient of selection ضد الأفراد المتنحية الأصيلة A_2A_2 هو s ، فإنه يمكن الحصول على مساهمة كل تركيب وراثى - بعد إجراء عملية الانتخاب- فى إنتاج الجاميطات اللازمة لتكوين الجيل التالى بضرب النسبة الأولية لكل تركيب وراثى فى قيمة التوافق fitness الخاصة به بعد الانتخاب ؛ كما يلى :

	التركيب الوراثى			
	A_1A_1	A_1A_2	A_2A_2	المجموع
النسبة الأولية	p^2	$2pq$	q^2	1
قيمة التوافق fitness	1	1	$1-s$	
المساهمة النسبية فى إنتاج الجاميطات	p^2	$2pq$	$q^2(1-s)$	$1-sq^2$

يلاحظ أن مجموع مساهمات التراكيب الوراثية فى إنتاج الجاميطات اللازمة لتكوين الجيل التالى لايساوى الواحد الصحيح ، بسبب حدوث فقدان قدره sq^2 ؛ نتيجة لإجراء عملية الانتخاب التى استبعدت فيها الأفراد المتنحية الأصيلة ، وعليه .. فإنه يحصل على

نسبة الآليل A_2 فى الجيل التالى (بعد إجراء عملية الانتخاب ضد الأفراد ذات التركيب الوراثى A_2A_2 بقسمة حاصل جمع مساهمة التركيب الوراثى A_2A_2 ونصف مساهمة التركيب الوراثى A_1A_2 على المجموع الجديد لمساهمات مختلف التراكيب الوراثية فى إنتاج الجاميطات (وهو $1-sq^2$) كما يلى :

$$q_1 = \frac{q^2 (1-s) + pq}{1-sq^2}$$

ويحسب التغير فى نسبة الآليل q(أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب كما يلـــــى:

$$\Delta q = q_1 - q$$

$$= \frac{q^2 (1-s) + pq}{1-sq^2} - q$$

$$= - \frac{sq^2 (1-q)}{1-sq^2}$$

ويعنى ذلك أن تأثير الانتخاب على نسب الجينات لايعتمد على شدة الانتخاب (s) فقط ، وإنما يعتمد -كذلك- على النسبة الأولية للجينات .

٢- حالة السيادة التامة مع الانتخاب ضد الأفراد السائدة :

يعنى إجر لانتخاب ضد الأفراد السائدة أن قيمة التوافق تصبح $1-s$ لكل من التركيبين الوراثيين A_1A_1 ، و A_2A_2 . وعندما يكون الانتخاب تاماً -أى عندما تكون قيمة (s) واحداً صحيحاً- فإن التغير فى نسبة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب يصبح كما يلى :

$$\Delta q = 1 - q$$

أى إنه لو سمح للأفراد ذات التركيب الوراثى المتنحى الأصيل فقط بالتكاثر .. فإن نسبة الآليل المتنحى تصبح واحداً صحيحاً بعد جيل واحد من الانتخاب .

٣- حالة السيادة غير التامة :

عندما يكون الفرد الخليط A_1A_2 وسطاً بين الأفراد الأصيلة .. فإن قيمة التوافق تصبح $1-\frac{1}{2}s$ للأفـراد ذوى التـركـيب الوراثى A_1A_2 ، و $1-s$ للأفـراد التى يجـرى الانتخاب ضـدها ، بينما تبقى قيمة التوافق واحداً صحيحاً بالنسبة للأفراد التى تحمل التركيب الوراثى المرغوب .

٤- حالة الانتخاب لصالح الأفراد الخليطة :

تنتخب الأفراد الخليطة A_1A_2 فى حالات السيادة الفائقة Overdominance . وبينما تكون قمية التوافق واحداً صحيحاً بالنسبة للأفـراد الخليـطة فإنها تصـبح $(1-s_1)$ ، و$(1-S_2)$ للتركيبين الأصيلين A_1A_1 ، و A_2A_2 .

ويبين جدول (٦-١) التغير فى نسبة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب فى حالات السيادة المختلفة التى سبق بيانها (عن Falconer ١٩٨١) .

جدول (٦ - ١) : التغير فى نسبجة الآليل q (أو Δq) بعد جيل واحد من الانتخاب فى حالات السيادة المختلفة .

حالة السيادة	الآليلات أو التراكيب الوراثية المستبعدة	التراكيب الوراثية ونسبتها الأولية A_1A_1 p^2	A_1A_2 $2pq$	A_2A_2 q^2	التغير فى نسبة الآليل A2 (أو Δq)
		قيمة التوافق			
لا توجد سيادة	A2	1	$1-\frac{1}{2}s$	$1-s$	$-\frac{\frac{1}{2}sq(1-q)}{1-sq}$
السيادة تامة	A_2A_2	1	1	$1-s$	$-\frac{sq^2(1-q)}{1-sq^2}$
السيادة تامة	A_1	$1-s$	$1-s$	1	$+\frac{sq^2(1-q)}{1-s(1-q^2)}$
يوجد تفوق	A_1A_1 ، و A_2A_2	$1-s_1$	1	$1-s_2$	$+\frac{pq(s_1p-s_2q)}{1-s_1p2-s_2q2}$

(أ) يمكن إهمال المقام إذا كانت قيمة (s) صغيرة ، ويعتبر البسط - حينئذ - ممثلاً لـ Δq .

تأثير النسب الأولية للأليلات فى كفاءة عملية الإنتخاب

يوضح شكل (٦-١) مدى التغير فى نسبة الأليل مع الانتخاب (أوΔq) ، عند اختلاف نسبته الأولية ، مع معامل انتخاب (s) قيمته ٠,٢ ، وهى القيمة الشائعة - غالباً - بالنسبة للصفات الكمية . يمثل المنحنيان العلويان العلاقة فى حالة غياب السيادة ، بينما يمثلها المنحنيان السفليان فى حالة السيادة التامة . وبينما تعنى علامة (+) أن الانتخاب لصالح الأليل ذى النسبة الأولية q .. فإن علامة (-) تعنى أن الانتخاب ضد هذا الأليل .

يتضح من الشكل ما يلى :

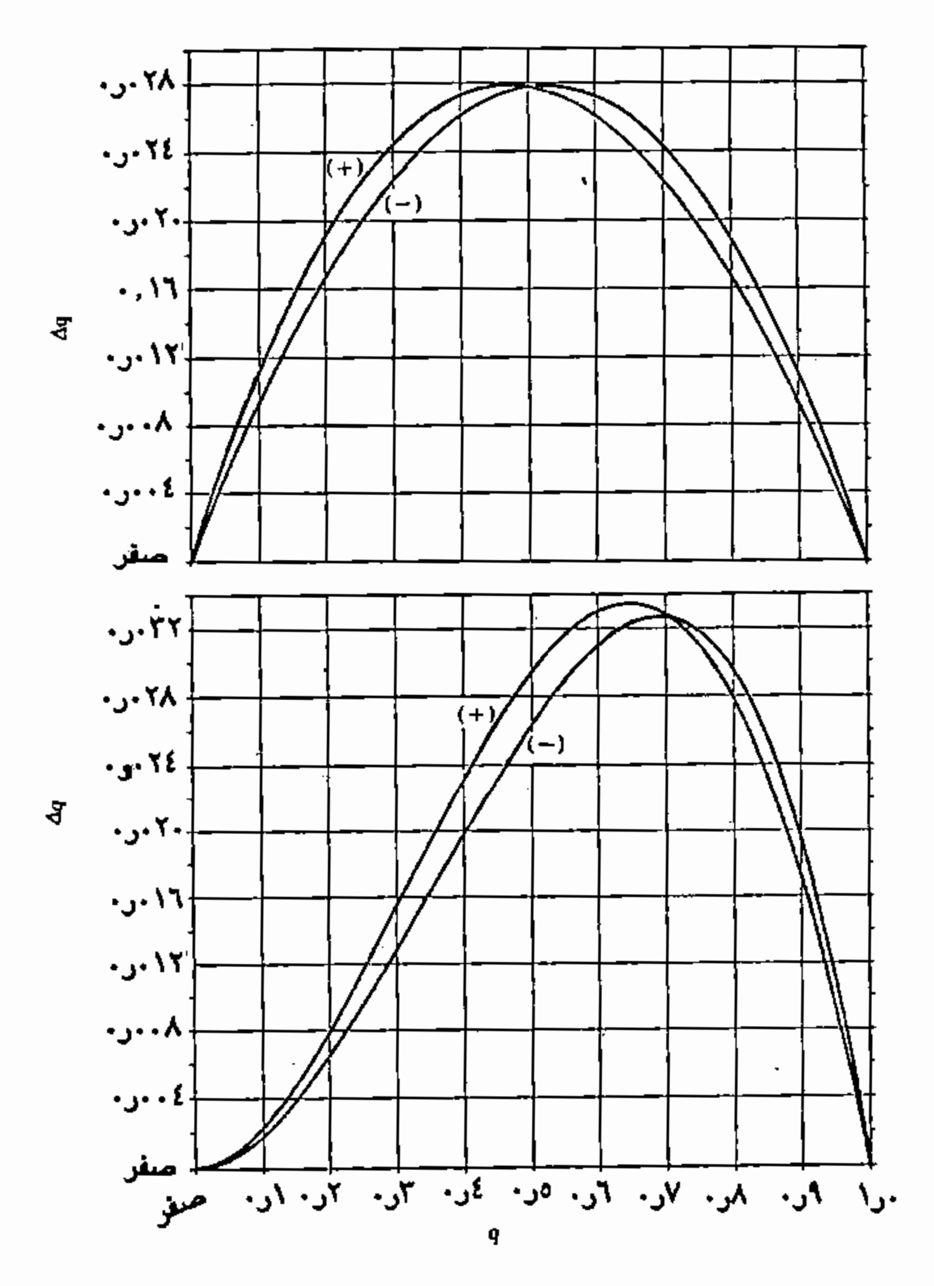
١- يكون الانتخاب أكثر فاعلية عندما تكون نسبة الأليلات وسطية ، وتقل كفاءته - تدريجياً - بزيادة قيمة q أو نقصها .

٢- يكون الانتخاب قليل الفاعلية ضد الأليلات المتنحية ، عندما تكون نسبتها منخفضة فى العشيرة .

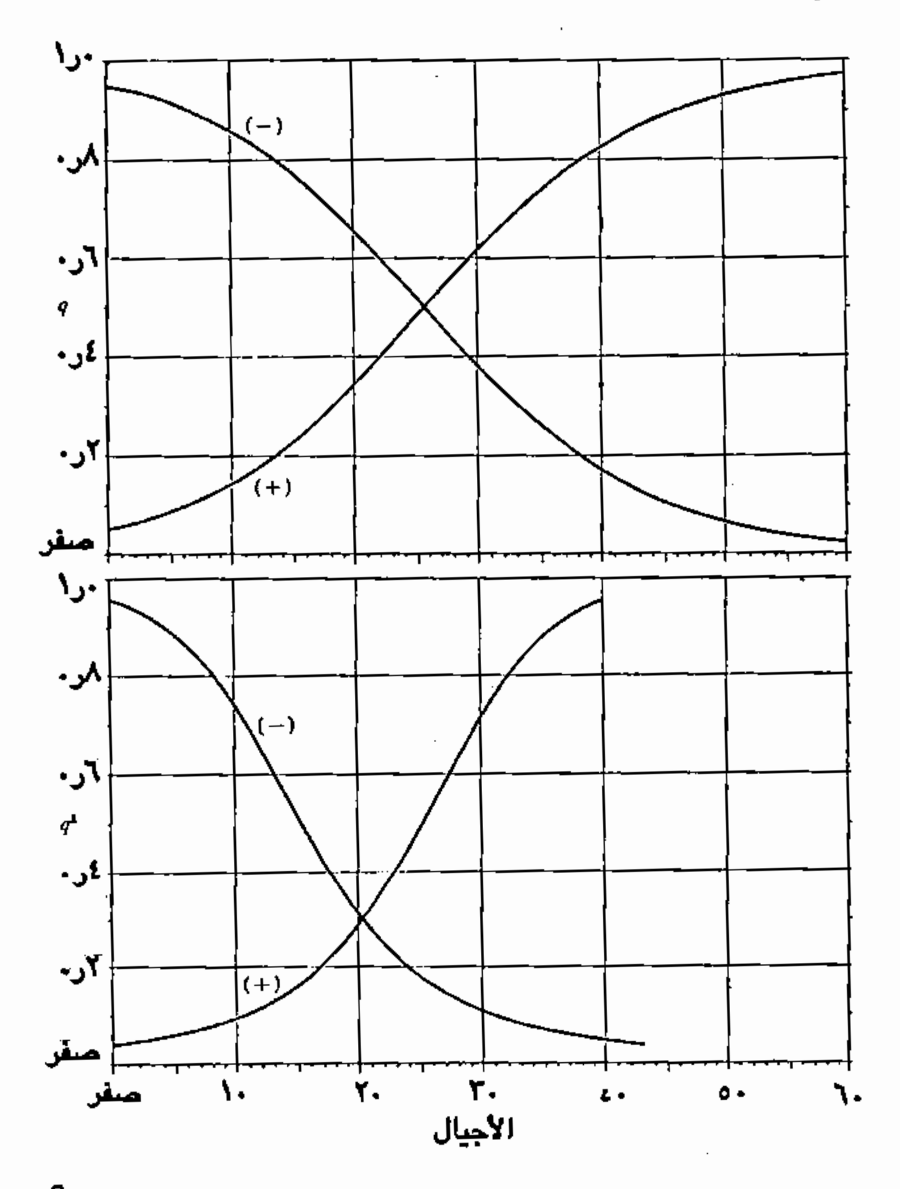
ويمكن التعبير عن التغير فى نسبة الأليلات مع الانتخاب ؛ ببيان العلاقة بين نسبة الأليلات وأجيال الانتخاب كما فى شكل (٦-٢) ، وهو الذى يمكن إعداده من شكل (٦-١) ، الذى بنى على أساس أن معامل الانتخاب s قيمته ٠,٢ ، ويمثل الشكلان العلويان التغير فى نسبة الأليل (q) مع الانتخاب ، بينما يمثل الشكلان السفليان التغير فى نسبة التركيب الوراثى الأصيل (q^2) مع الانتخاب . وبينما تعنى العلامة (+) أن الانتخاب لصالح الأليل ذى النسبة الأولية (q) .. فإن علامة (-) تعنى أن الانتخاب ضد هذا الأليل ؛ لذا .. فإن قيمة q أو (q^2) تزداد فى الحالة الأولى وتقل فى الحالة الثانية .

يتضح من الشكل أن التغير فى نسبة الأليلات ، أو فى نسبة التراكيب الوراثية .. يكون بطيئاً للغاية فى بداية عملية الانتخاب عندما تكون هذه النسب منخفضة جداً أو مرتفعة جداً ابتداءً ، ولكن معدل التغير يزداد فى الحالات الوسطية لهذه النسب ، ثم ينخفض مرة أخرى بالقرب من نهاية عملية الانتخاب .

وكما سبق بيانه فى جدول (٦-١) .. فإنه يمكن الاستغناء عن المقام فى معادلات حساب قيمة Δq حينما تكون قيمة s أو q صغيرة جدا نظراً لأنه يكون قريباً جدا من



شكل (٦ – ١) : العلاقة بين النسبة الأولية للأليل (q) ، والتغير فى نسبته (Δq) عند الانتخاب مع معامل انتخاب (s) تبلغ قيمة ٢,٠ . يراجع المتن للتفاصيل .



شكل (٦ − ٢) : التغير في نسبة الأليل (q) وفي نسبة التركيب الوراثي المتنحي الأصيل (q^2) مع الانتخاب مع معامل انتخاب (s) تبلغ قيمته ٠,٢ . يراجع المتن للتفاصيل (عن Falconer ١٩٨١) .

الواحد الصحيح ، وتحسب قيمة Δq حينئذ بالمعادلات التالية :

١- فى حالة غياب السيادة تصبح المعادلة :

$$\Delta q = \pm \frac{1}{2} s q (1-q)$$

٢- فى حالة السيادة التامة تصبح المعادلة :

$$\Delta q = \pm s q^2 (1-q)$$

عدد أجيال الانتخاب اللازمة لإحداث التغيير المطلوب

يُطرح هذا السؤال -غالبًا- فى برامج التربية : ما عدد الأجيال اللازمة من الانتخاب لإحداث التغيير المطلوب فى نسبة الأليل غير المرغوب فى العشيرة ؟ وتتوقف الإجابة على هذا السؤال على أربعة أمور ، هى :

١- حالة السيادة :

يتم اختيار المعادلة المناسبة لكل حالة من حالات السيادة - كما سبق بيانه - ففى حالة استبعاد النباتات المتنحية الأصيلة .. تكون المعادلة المناسبة كما يلى :

$$q_1 = \frac{q^2 (1-s) + pq}{1 - sq^2}$$

وهى المعادلة التى تحدد نسبة الأليل المتنحى بعد جيل واحد من الانتخاب ضده .

٢- شدة الانتخاب :

يتوقف عدد الأجيال اللازمة لإحداث التغيير المطلوب على شدة الانتخاب ، وهى التى تتوقف على درجة توريث الصفة ؛ فلو فرض أن استبعدت جميع النباتات المتنحية الأصيلة (أى كانت $s=1$) - كما هى الحال فى حالات الانتخاب الطبيعى ضد الطفرات المتنحية المميتة ، وكما يحدث فى برامج التربية عند الانتخاب ضد الصفات المتنحية غير المرغوبة - فإن المعادلة السابقة تصبح كما يلى :

$$q_1 = \frac{q}{1 + q}$$

وباستعمال الرموز q_0 ، و q_1 ، و q_2 ، و q_t لنسبة الآليل المتنحى بعد صفر ، و ١ و ٢، و t جيل من الانتخاب ضده .. فإنه يمكن التوصل إلى المعادلات التالية :

$$q_1 = \frac{q_0}{1+q_0}$$

$$q_2 = \frac{q_1}{1+q_1} = \frac{q_0}{1+2q_0}$$

$$q_t = \frac{q_0}{1+tq_0}$$

ويصبح – بالتالى – عدد الأجيال (t) اللازمة لتغيير نسبة الآليل من q_0 إلى q_t كما يلى (عن Falconer ١٩٨١) :

$$t = \frac{q_0 - q_t}{q_0\, q_t}$$

$$= \frac{1}{q_t} - \frac{1}{q_0}$$

٣– النسبة الأصيلة للآليل (أو q_0) :

يكون التغير فى نسب الآليلات مع الانتخاب منخفضا للغاية ، عندما تكون نسبة الآليل منخفضة أو مرتفعة أصلاً كما سبق أن أوضحنا ؛ ففى حالة استبعاد جميع النباتات المتنحية الأصيلة (كما فى المثال السابق) .. فإنه يلزم ١٢ جيلاً لزيادة نسبة الآليل السائد من ٠,٩ إلى ٠,٩٥ ، بينما يلزم ٣٢ جيلاً أخرى لزيادة نسبته من ٠,٩٥ إلى ٠,٩٨ ، وإذا فرض أن معامل الانتخاب s كان ٠,٢ وهو ما يحدث عندما تكون درجة التوريث منخفضة .. فإنه يلزم فى هذه الحالة ٥٤ جيلاً لزيادة نسبة الآليل السائد من ٠,٩ إلى ٠,٩٥ ، و ١٥٥ جيلاً أخرى لزيادة نسبته من ٠,٩٥ إلى ٠,٩٨ ؛ هذا بفرض عدم ظهور الآليل غير المرغوب كطفرة أثناء إجراء عملية الانتخاب .

٤– عدد الصفات التى ينتخب لها المربى :

يؤثر عدد الصفات التى ينتخب لها المربى على شدة الانتخاب الممكنة ؛ حيث تقل شدة

الانتخاب مع كل زيادة في عدد الصفات . فلو أن المطلوب هو انتخاب أفضل ٥٪ من النباتات في عشيرة مكونة من ١٠٠٠ نبات مثلاً .. لأمكن - فعلاً - إجراء الانتخاب على أفضل ٥٪ من النباتات في هذه الصفة . ولكن شدة الانتخاب تخف حدتها مع زيادة عدد الصفات التي ينتخب لها المربي ؛ حيث يلزم - حينئذ - إجراء الانتخاب على أفضل ٢٢٪ ، و٣٧٪ ، و ٥٥٪ ، و ٧٤٪ من النباتات عند الانتخاب لصفتين ، وثلاث ، وخمس ، وعشر صفات على التوالي ، بفرض تساوي شدة الانتخاب بالنسبة لجميع الصفات المنتخبة ؛ وذلك حسب المعادلة التالية :

$$\text{النسبة المئوية لأفضل النباتات التي يجب الإبقاء عليها} = \sqrt[ن]{س} \times ١٠٠$$

حيث إن :

ن = عدد الصفات المنتخبة .

س = نسبة الأفراد التي يجب الإبقاء عليها للمحافظة على حجم العشيرة (٥٪ في المثال السابق) (عن Allard ١٩٦٤) .

تأثير الطفرات على توازن هاردي - فينبرج

تؤثر الطفرات على التوازن الذي تصل إليه الأليلات في العشيرة بعد تحسينها بالانتخاب، ولكن يتوقف مدى هذا التأثير على ما إذا كانت هذه الطفرات نادرة الحدوث ، أم أنه يتكرر حدوثها باستمرار ؛ فالطفرات النادرة الحدوث non - recurrent mutations لايكون لها تأثير يذكر على نسبة الأليلات في العشيرة ؛ لأن فرصتها في البقاء تكون ضئيلة للغاية ، إلا إذا كانت قدرتها على البقاء أكبر من الصور الأخرى (الأليلات الأخرى) لنفس الجين ؛ فلو أن العشيرة كلها كانت ذات تركيب وراثي A_1A_1 ، وحدثت طفرة في أحد الأفراد إلى A_2 .. فإن فرصة الفرد المطفر A_1A_2 في التزاوج تكون ضئيلة جداً ؛ وإن لم يأخذ فرصته .. فإن الطفرة تنقرض ، وتعود العشيرة برمتها إلى التركيب الوراثي A_1A_1 كما كانت ؛ لذا .. فإن هذه الطفرات لاتحدث أي تغير في نسب الأليلات في العشيرة ، إلا إذا كان الانتخاب لصالحها .

ويختلف الأمر مع الطفرات التي يتكرر حدوثها recurrent mutations ؛ لأنها لاتفقد أبدا من العشيرة ؛ بسبب تكرر حدوثها بانتظام ؛ فإذا فرض وجود أليل A_1 ، وأنه يطفر

بانتظام إلى الأليل A_2 ؛ بمعدل قدره "u" فى كل جيل ، وإذا كانت نسبة A_1 فى جيل ما .. هى p_0 فإن نسبة الأليل A_2 فى الجيل التالى تكون up_0 ، وتصبح نسبة الأليل A_1 كما يلى :

$$A_1 = p_0 - up_0$$

ويكون التغير فى نسبة الجين قدره : $(- up_0)$.

أما إذا حدثت الطفرة فى كلا الاتجاهين ، وبفرض وجود أليلين فقط للجين هما A_1 ، و A_2 ، وأن نسبتيهما الأولية p_0 ، و q_0 على التوالى ، وأن A_1 يطفر إلى A_2 ؛ بمعدل قدره u فى كل جيل ، بينما يطفر A_2 إلى A_1 بمعدل قدره v فى كل جيل .. فإن نسبة الأليل A_2 تزيد فى كل جيل بمقدار up_0 ؛ بسبب الطفرة فى هذا الاتجاه ، وتقل بمقدار vq_0 بسبب الطفرة فى الاتجاه الآخر ؛ وبذا .. يصبح التغير فى نسبة الأليلات (Δq) بعد جيل واحد كما يلى :

$$\Delta q = up_0 - vq_0$$

يستمر هذا التغير فى نسبة الأليلات إلى أن يصل الأليلان إلى حالة توازن بينهما ، وهى التى يتساوى عندها up مع vq ؛ ذلك لأن زيادة نسبة أحد الأليلين – تدريجيًا – بسبب الطفرات .. تعنى تبقى نسبة أقل من الأليل الآخر الذى تحدث فيه الطفرة فى هذا الاتجاه ؛ فى الوقت الذى تتوفر فيه نسبة أعلى من الأليل ، الذى تحدث فيه طفرة فى الاتجاه المضاد . ونجد عند التوازن أن Δq تساوى صفرا .

هذا .. وتتراوح نسبة الطفرات فى الطبيعة –بوجه عام– من $١٠^{-٨}$ إلى $١٠^{-٤}$ فى الجيل الواحد . وتعد هذه النسبة ضئيلة جداً . وبرغم أنها قد تؤثر فى تطور الأنواع على المدى البعيد .. إلا أنها لاتؤثر فى نسبة الأليلات بشكل ملحوظ يمكن قياسه .

وتدل الحالات المشاهدة على أن معدل حدوث الطفرات من الطرز البرية wild types إلى الطرز المطفرة mutant types يكون ١٠ أضعاف المعدل فى الاتجاه المكسى ؛ وبذا .. فإن نسبة الأليلين عند وصولهما إلى حالة التوازن تكون ٠,١ للطرز البرية ، و٠,٩ لطرز الطفرات ؛ أى إن الطفرات تكون هى الأليلات الشائعة فى العشائر الطبيعية . كما تجدر الإشارة إلى أن أى تغير فى معدل حدوث الطفرات – مثل زيادة جرعة التعرض للإشعاعات – لايؤثر فى حالة التوازن مادام التغير واحداً فى كلا اتجاهى الطفور .

تأثير الهجرة إلى العشيرة فى توازن هاردى - فينبرج

تؤثر الهجرة migration إلى العشيرة على حالة التوازن الذى تصل إليه الآليلات فى العشيرة بعد تحسينها ، ويتوقف مدى هذا التأثير على معدل الهجرة ، وعلى الفرق بين نسبة الآليل فى الأفراد المهاجرة والأفراد الأصلية .

فلو فرض أن كانت نسبة الأفراد المهاجرة إلى عشيرة كبيرة فى الحجم هى m ونسبة الأفراد الأصلية $(1-m)$ ، وأن نسبة أليل ما هى q_m بين الأفراد المهاجرة ، و q_o بين الأفراد الأصلية ، فإن نسبة الآليل فى العشيرة المختلطة (q_1) تصبح كما يلى :

$$q_1 = mq_m + (1-m)\, q_o$$
$$= m\,(q_m - q_o) + q_o$$

ويصبح التغير فى نسبة الآليل (Δq) بعد جيل واحد من الهجرة كما يلى :

$$\Delta q = q_1 - q_o$$
$$= m\,(q_m - q_o)$$

الانتخاب فى الصفات الكمية

يتوقف مدى التقدم الذى يمكن إحرازه عند الانتخاب للصفات الكمية على العوامل التالية :

١- مدى توفر الاختلافات الوراثية .

٢- درجة توريث الصفة .

٣- شدة الانتخاب للصفة .

ويعبر عن التقدم الوراثى فى كل دورة من دورات الانتخاب (G_c) بالمعادلة التالية :

$$G_c = h^2 D$$

حيث تمثل :

h^2 : درجة التوريث على النطاق الضيق .

D : الفارق الانتخابى Selection Differntial ، وهو الفرق بين متوسط الأفراد

المنتخبة من العشيرة والمتوسط العام للعشيرة فى الصفة المنتخبة .

ويحسب التقدم الوراثى السنوى (G_y) بقسمة التقدم الوراثى لكل دورة انتخاب على عدد السنوات التى تستغرقها كل دورة (y) كما يلى :

$$G_y = \frac{G_c}{y}$$

ويمكن التعبير عن الفارق الانتخابى (D) كما يلى :

$$D = k\sqrt{V_{Ph}}$$

حيث تمثل :

k : شدة الانتخاب Selection Intensity ، وهى الفارق الانتخابى معبراً عنه بوحدات قياسية .

V_{Ph} : تباين الشكل المظهرى .

ويمكن - بالتالى- إعادة صياغة معادلة التقدم الوراثى لكل دورة من دورات الانتخاب ، لتصبح كما يلى :

$$G_c = h^2D = \frac{V_A}{V_{Ph}} k\sqrt{V_{Ph}} = \frac{k\,V_A}{V_{Ph}}$$

حيث يمثل V_A التباين الإضافى .

ويشتمل تباين الشكل المظهرى V_{Ph} على الخطأ التجريبى (V_e) ، وتباين التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة (V_{ge}) ، وتباين التركيب الوراثى (V_g) .

ويمكن - بالتالى- تمثيل الجذر التربيعى لتباين الشكل المظهرى بالمعادلة التالية :

$$\sqrt{V_{Ph}} = \sqrt{\frac{V_e}{rt} + \frac{V_{ge}}{t} + V_g}$$

حيث تمثل r عدد المكررات ، و t عددالبيئات التى اختبرت فيها التراكيب الوراثية . ويعنى بالتراكيب الوراثية النباتات المفردة ، أو أنسالها . وتمثل البيئة بالمواقع والسنوات التى أجريت فيها الاختبارات .

ويمكن تقسيم الخطأ التجريبى إلى مكونين ، هما : التباين بين النباتات بكل وحدة تجريبية (V_W) ، والتباين من وحدة تجريبية لأخرى (V) كما يلى :

$$V_e = \frac{V_w}{n} \quad V$$

حيث تمثل n عدد النباتات فى كل وحدة تجريبية .

ويتضمن التباين بين النباتات -فى كل وحدة تجريبية- الاختلافات التى تعود إلى تأثير البيئة ، وتلك التى ترجع إلى الاختلافات الوراثية بين النباتات . وتشتمل التأثيرات البيئية على الاختلافات فى خصوبة التربة ، والرطوبة الأرضية ، وأى عامل آخر ، يمكن أن يسبب اختلافات مظهرية بين النباتات المتماثلة فى تركيبها الوراثى . أما الاختلافات الوراثية بين الأفراد فى الوحدة التجريبية الواحدة .. فترجع إلى الانعزالات الوراثية التى تظهر فى نسل السلالة أو العائلة المختبرة . ويمكن - من ثم - تقسيم التباين بين النباتات داخل الوحدة التجريبية (V_W) إلى تباين بيئى (V_U) ، وتباين وراثى (V_{Wg}) كما يلى :

$$V_w = V_u + V_{wg}$$

وعليه .. فإنه يمكن إعادة صياغة معادلة التقدم الوراثى السنوى (G_y) لتصبح كما يلـى :

$$G_y = \frac{kV_A}{yV_{Ph}}$$

$$= \frac{kV_A}{y\sqrt{(V_e / rt) + (V_{ge} / t) + V_g}}$$

$$= \frac{kV_A}{y\sqrt{\{[(V_w / n) + V] / rt\} + (V_{ge} / t) + V_g}}$$

$$= \frac{kV_A}{y\sqrt{(\{[V_u + V_{wg}) / n] + V \} / rt) + (V_{ge} / t) + V_g}}$$

أما التقدم الوراثى الذى يحدث فى كل دورة من دورات الانتخاب (G_c) .. فإنه يتوقف على طريقة التربية المتبعة ، والتى تتوقف فاعلية الانتخاب فى كل منها على مدى الاستفادة من التأثير الإضافى للجين . وبينما تناسب الطرق الآتى بيانها النباتات الخلطية التلقيح - وهى التى يحدث فيها التزاوج عشوائيا - فإنها يمكن أن تستعمل مع النباتات الذاتية التلقيح ، إذا ماأجرى لها تلقيح عشوائى صناعى فيما بينها . ويتأثر مقدار التباين الإضافى بمدى التحكم الواقع فى اختيار الآباء المستعملة فى إنتاج الأجيال التالية . وتعرف العلاقة بين النبات أو البذرة المستعملة فى التعرف على التراكيب الوراثية المتفوقة (وحدة الانتخاب) ، وبين النبات أو البذرة المستعملة لدراسة الانعزال (وحدة الانعزال) باسم تحكم الآباء Parent Control ، وهو الذى يرمز له بالرمز (c) ، ويعطى القيم التالية :

١- تأخذ c القيمة ٠,٥ عندما تكون وحدة الانتخاب مماثلة لوحدة الانعزال ، وحينما لاتنتخب سوى الأمهات ؛ وهو ما يحدث -مثلاً- حينما تُلقح نباتات الأمهات المنتخبة بنباتات آباء منتخبة وغير منتخبة -على حد سواء- مثلما فى طريقة التربية بالانتخاب المتكرر للشكل المظهرى ، وطريقة الكوز للخط عندما يجرى الانتخاب بعد التلقيح .

٢- تأخذ c القيمة ١,٠ ، حينما تكون وحدة الانتخاب مماثلة لوحدة الانعزال ، مع انتخاب كل من الأمهات والآباء ، مثلما فى طريقة التربية بالانتخاب المتكرر للشكل المظهرى قبل التلقيح ، وطريقة تلقيح النباتات المنتخبة بصنف اختبارى (half-sib family) ، حينما تسعمل البذور المتبقية من التلقيحات (بعد تقييم التلقيحات) ، وطريقة الانتخاب فى نسل النباتات المنتخبة بعد تلقيحها مع بعضها البعض (full-sib family) ، وكذلك فى حالات التلقيح الذاتى للنباتات المنتخبة .

٣- تأخذ c القيمة ٢,٠ ، حينما لاتكون وحدتا الانتخاب والانعزال متماثلتين ؛ كما فى الحال فى حالات : تلقيح النباتات المنتخبة بصنف اختبارى ، حينما تستعمل البذور الناتجة من التلقيح الذاتى أو السلالات الخضرية للنباتات المنتخبة ؛ من أجل الحصول على الانعزالات ؛ حيث تكون وحدة الانتخاب فى بذور أنصاف الأقارب half-sib ، بينما تكون وحدات الانعزال هى البذور الناتجة من التلقيح الذاتى أو السلالات الخضرية للتراكيب الوراثية المنتخبة .

وفيما يلى .. بيان بالمعادلات المستعملة فى حساب التقدم المتوقع فى كل دورة من دورات الانتخاب (G_c) ، عند اتباع كل من الطرق التى سبق بيانها :

الطريقة	التقدم المتوقع فى كل دورة انتخاب (G_c)
الانتخاب المتكرر للشكل المظهرى بدون استعمال تحت وحدات تجريبية (subplots)	$\frac{kcV_A}{\sqrt{(V_u + V + V_{AE} + V_{DE} + V_A + V_D}}$
الانتخاب المتكرر للشكل المظهرى مع استعمال تحت وحدات تجريبية	$\frac{kcV_A}{\sqrt{(V_u + V_{AE} + V_{DE} + V_A + V_D}}$
طريقة الكوز للخط المحورة	$\frac{kc\frac{1}{4}\ V_A}{\sqrt{\frac{V_e}{rt} + \frac{\frac{1}{4}V_{AE}}{t} + \frac{1}{4}V_A}}$
أنصاف الأقارب (Half - Sib)	$\frac{kc\frac{1}{4}\ V_A}{\sqrt{\frac{V_e}{rt} + \frac{\frac{1}{4}V_{AE}}{t} + \frac{1}{4}V_A}}$
الأقارب التامة (Full - Sib)	$\frac{kc\frac{1}{2}\ V_A}{\sqrt{\frac{V_e}{rt} + \frac{(\frac{1}{2}V_{AE} + \frac{1}{4}V_{DE})}{t} + \frac{1}{2}V_A + \frac{1}{4}V_D}}$
التلقيحات الذاتية	$\frac{kc\ V_A'}{\sqrt{\frac{V_e}{rt} + \frac{(V_{AE}' + \frac{1}{4}\ V_{DE})}{t} + V_A' + \frac{1}{4}V_D}}$

تستخدم المعادلات السابقة فى التنبؤ بالتقدم المتوقع فى كل دورة انتخاب لمقارنة مدى كفاءة مختلف طرق التربية ، قبل بدء برنامج الانتخاب ، وذلك حتى يمكن اختيار أكثرها كفاءة . ويعطى Fehr (١٩٨٧) مثالاً مفصلاً لحالة قارن فيها التقدم السنوى المتوقع للانتخاب عند اتباع أى من سبع طرق للتربية ، وعند اختلاف عدد العروات الممكنة من ١-٣ عروات سنويًا . وتقدر مختلف القيم فى المعادلات السابقة كما يلى :

١- تباين الشكل المظهرى والتباين الوراثى بمكوناته المختلفة :

يراجع لذلك الفصل الرابع .

٢- شدة الانتخاب :

تُعَرّف شدة الانتخاب selection intensity بأنها النسبة المئوية لعدد السلالات المنتخبة إلى عدد السلالات المختبرة ، ويعبر عنها فى المعادلات بوحدات قياسية ، وهى التى يرمز لها بالرمز k . ويشرح Falconer (١٩٨١) كيفية حساب "k" ؛ وهى تقل بزيادة نسبة التراكيب الوراثية المنتخبة إلى التراكيب المختبرة كما يلى :

النسبة المئوية للتراكيب الوراثية المنتخبة إلى المختبرة	k
١	٢,٦٤
٢	٢,٤٢
٥	٢,٠٦
١٠	١,٧٥
١٥	١,٥٥
٢٠	١,٤٠

٣- قيمة تحكم الآباء c (أو Parent Control) :

تتوقف هذه القيمة على العلاقة بين وحدة الانتخاب ووحدة الانعزال ، وتأخذ إحدى ثلاث قيم هى : ٠,٥ ، و ١,٠ ، و ٢,٠ فى حالات طرق التربية المختلفة ، كما سبق بيانه .

٤- عدد السنوات (y) :

يتوقف عدد سنوات كل دورة انتخاب على طريقة التربية المتبعة ، وعدد العروات التى يمكن زراعتها من المحصول فى كل عام . يكون الرقم صحيحا إن لم يكن بالإمكان زراعة أكثر من عروة واحدة سنويًا ، بينما قد يحتوى الرقم على كسور فى غير ذلك من الحالات. هذا .. وتتطلب كل دورة انتخاب عروة زراعية واحدة فى طرق : الانتخاب المتكرر للشكل المظهرى عند اختيار أحد الأبوين أو كليهما قبل الإزهار ، وطريقة الكوز للخط عند انتخاب أحد الآباء فقط ؛ بينما تتطلب كل دورة انتخاب عروتين زراعيتين فى طرق : الانتخاب المتكرر للشكل المظهرى عند تلقيح الآباء المنتخبة ذاتيًا قبل تلقيحها معًا ، وطريقة الكوز للخط عند انتخاب كلا الأبوين ، وعند اتباع طريقة التلقيح بين النباتات المنتخبة (full - sib) ، وكذلك عند تلقيح النباتات المنتخبة بصنف اختبارى (half - sib families) ، حينما تستعمل البذور المتبقية من التلقيحات . ويزيد عدد العروات الزراعية اللازمة فى كل دورة انتخاب إلى ثلاث عروات ، حينما يجرى التلقيح بين أنسال النباتات المنتخبة الملقحة ذاتيا ، وإلى أربع عروات حينما يستمر التلقيح الذاتى لجيلين ، وإلى خمس عروات حينما يدوم التلقيح الذاتى لثلاثة أجيال قبل إجراء التلقيح بين السلالات المرباة بالتلقيح الذاتى .

ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Sprague (١٩٦٦) ، و Fehr (١٩٨٧).

مثال على التقدم الوراثى بالانتخاب

يوضح شكل (٦-٣) مثالاً افتراضيًا على التقدم الوراثى الذى قد يمكن إحرازه بعد دورة واحدة من دورات الانتخاب (عن Simmonds ١٩٧٩) . ويتبين من الشكل .. أن انتخاب الأفراد الموزعة فى الجزء المظلل من عشيرة الأساس (الرسم العلوى) يؤدى إلى إنتاج العشيرة المحسنة (الرسم السفلى) . هذا .. علما بأن شدة الانتخاب (k) فى هذا المثال الافتراضى هى ١,٧٦ ، والنسبة المئوية للنباتات المنتخبة ١,٠ . ويتضح - لدى مقارنة القيم

الإحصائية فى عشيرة الأساس ؛ وفى نسل النباتات المنتخبة – ما يلى :

القيمة الإحصائية	عشيرة الأساس	نسل النباتات المنتخبة
المتوسط العام للعشيرة	١٠,٠	١١,٧٦
تباين الشكل المظهرى (V_p)	٤,٠	١,٧٣
التباين الإضافى (V_A)	٢,٠	٣,٠
التباين البيئى (V_E)	٢,٠	٢,٠
درجة التوريث (h^2)	٠,٥	٠,٣٣

وقد تحقق فى هذا المثال تقدم قدره ١,٧٦ وحدة من الصفة المنتخبة بعد دورة واحدة من الانتخاب .

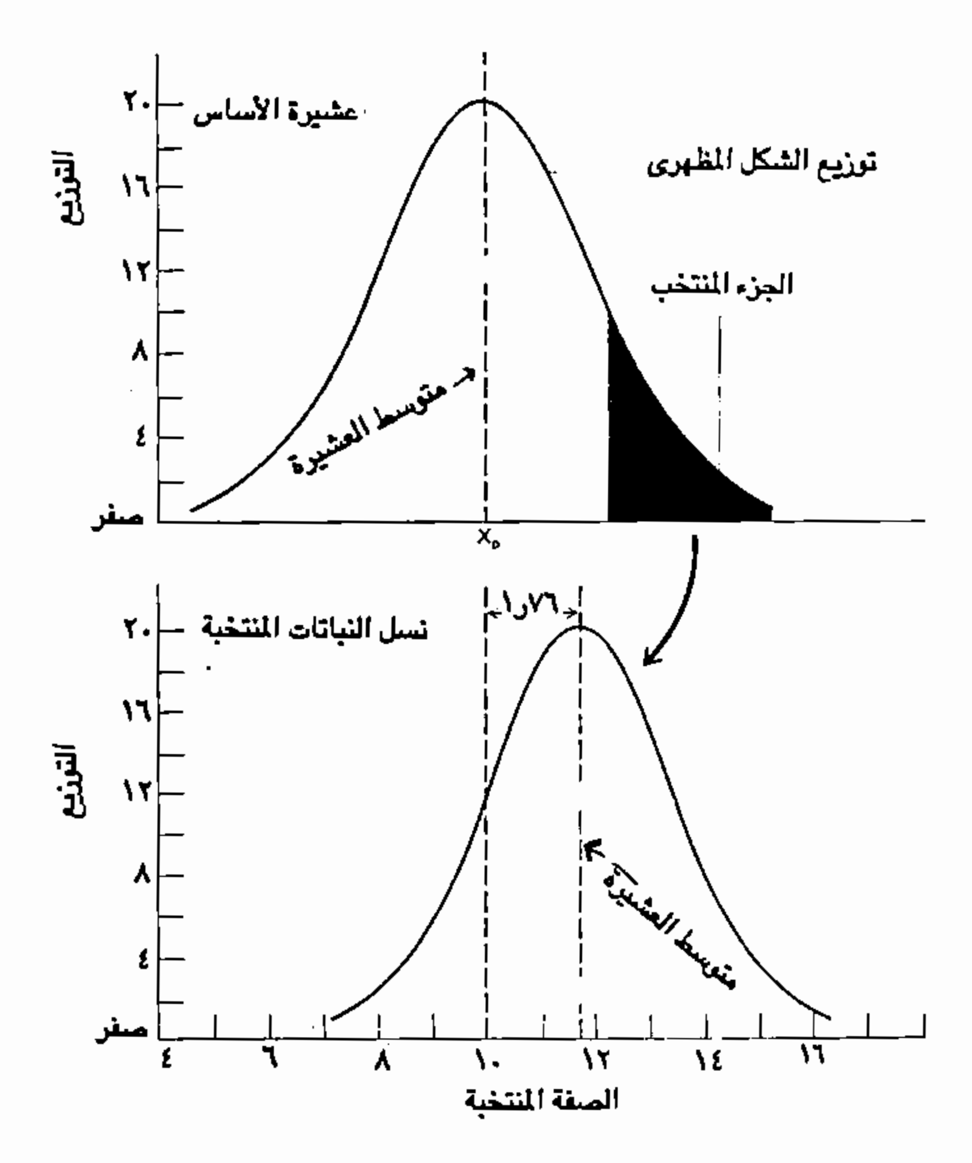
تحسين التقدم الوراثى السنوى فى برامج التربية بالانتخاب

يسعى المربى – دومًا – إلى تعزيز وزيادة التقدم الوراثى الذى يحرزه سنويًا فى برامج التربية بالانتخاب ؛ من خلال دراسته لكافة العوامل المؤثرة على القيم التى تدخل فى حساب التقدم الوراثى – والتى وردت فى المعادلات التى سبق بيانها– وهى كما يلى :

١– عدد سنوات كل دورة انتخاب :

يتوقف عدد سنوات كل دورة انتخاب على عدد العروات التى يمكن زراعتها كل عام ؛ حيث يمكن زراعة عروتين ، أو ثلاث عروات –أحيانا– من المحصول الواحد فى المناطق ذات المناخ المعتدل . أما فى المناطق الشديدة البرودة شتاء ، أو الشديدة الحرارة صيفاً .. فيمكن زراعة عروات إضافية فى البيوت المحمية ، أو فى مناطق أخرى من العالم ، تسمح فيها الظروف البيئية باستمرار الزراعة .

ويستفاد من العروات الإضافية هذه فى إجراء التهجينات ، وفى التربية الداخلية ، وإكثار البذور ؛ كما قد يستفاد من بعضها فى التقييم والانتخاب ، ويتوقف ذلك على الإمكانات المتاحة ، والمحصول المزروع ، والصفات التى يجرى الانتخاب لها ؛ فالزراعات



شكل (٦ – ٣) : مثال افتراضى للتحسين الوراثي الذي يحدث بعد دورة واحدة من الانتخاب-يراجع المتن للتفاصيل .

المحمية وحجرات النمو .. لا تناسب إلا المحاصيل التى لاتتطلب مساحات كبيرة لنموها ، وعمليات التربية التى لاتتطلب أعداداً كبيرة من النباتات لإنجازها . ويعد إجراء التهجينات أكثر عمليات التربية شيوعاً فى البيوت المحمية . كما يجرى فيها -أحيانا- زراعة مزيد من الأجيال ؛ للوصول إلى الأصالة الوراثية ، ويكون ذلك – غالباً – بطريقة التحدّر من البذرة المفردة Single - Seed Descent . كما يعد التقييم لمقاومة الآفات أكثر الاختبارات إجراء

فى البيوت المحمية وحجرات النمو . وبالمقارنة .. فإن زراعة العروات الإضافية تحت ظروف الحقل - فى المناطق التى يسودها جو معتدل - تسمح بتقييم أعداد كبيرة من النباتات ، وإجراء معظم عمليات التربية التى تجرى فى العروة الرئيسية ، ولكن يعاب عليها صعوبة الإشراف الدائم على العمليات الزراعية التى تجرى بها ، والتكاليف والجهود الإضافية التى تبذل فى التنقل بين المحطتين ، والتأخير الذى قد يحدث فى انتقال البذور و الأجزاء الخضرية المستعملة فى الزراعة فى حالة وجود قوانين حجر زراعى خاصة بالمحصول المراد زراعته . أما زراعة العروات الإضافية فى دول أخرى بنصف الكرة الأرضية المقابل .. فإنها تتطلب اتفاقيات دولية وترتيبات خاصة ، لسرعة انتقال الأجزاء النباتية المستعملة فى الزراعة . ولهذه الطريقة .. مزايا الطريقة السابقة وعيوبها .

٢- شدة الانتخاب (k) :

تفضل -دائماً- زيادة أعداد النباتات أو السلالات التى يجرى تقييمها ؛ لأن ذلك يكون مصاحباً بزيادة فى قيمة شدة الانتخاب بالوحدات القياسية (أو k) ؛ فبفرض أن المربى يقوم بانتخاب أفضل ٢٠ سلالة .. فإن ذلك يعنى أن شدة الانتخاب (كنسبة مئوية) تكون ٢٠٪ فى حالة اختبار ١٠٠ سلالة ، و ١٠٪ عند اختبار ٢٠٠ سلالة ، و ٥ ٪ لدى اختبار ٤٠٠ سلالة ، وتكون قيمة k المقابلة هى ١,٤ ، و ١,٧٥ ، و ٢,٠٦ -للحالات الثلاث- على التوالى . وحتى لو حافظ المربى على نسبة مئوية ثابتة من السلالات المنتخبة .. فإن زيادة عدد السلالات المختبرة يعنى تقليل التربية الداخلية فى العشيرة ، وهو أمر مطلوب . وتعد ميكنة العمليات الزراعية واستخدام الحاسبات الالية .. من أهم العوامل التى ساعدت مربى النباتات على زيادة أعداد السلالات التى تختبر فى برامج التربية سنوياً .

٣- تحكم الآباء (c) :

يمكن زيادة قيمة (c) من ٠,٥ إلى ١,٠ بانتخاب الصفة قبل تلقيح الأمهات بالآباء المنتخبة وغير المنتخبة . ويفضل انتخاب الأمهات والآباء قبل التلقيح ؛ حتى تكون الآليلات المورثة للنسل من نباتات منتخبة . ويعنى انتخاب الأمهات أن نصف الآليلات - فقط - هى التى تكون من نباتات منتخبة أما النصف الآخر من الآليلات - وهو الذى يتحصل عليه من الآباء غير المنتخبة - فإنه لايسهم فى أى تقدم وراثى . كما يمكن زيادة تحكم الآباء من

١,٠ إلى ٢,٠ ؛ باستعمال البذور الناتجة من التلقيح الذاتى أو السلالات الخضرية ؛ لإجراء التلقيحات بين أنسال أنصاف الأقارب المتفوقة Superior half - sib progenies بدلاً من استعمال البذور المتبقية من أنصاف الأقارب (فى التلقيحات القمية) ؛ ذلك لأن الآليلات الموجودة فى البذور الناتجة من التلقيح الذاتى تأتى من الأفراد المنتخبة فقط ، بينما تأتى نصف آليلات بذور أنصاف الأقارب من النباتات المنتخبة ، ويأتى نصفها الآخر من العشيرة التى تضم أفراداً غير منتخبة .

٤- التباينات الوراثية(V_A، و V_g) :

يتحدد مقدار التباين الوراثى الإضافى فى العشيرة بالعوامل التالية :

(أ) الاختلافات الوراثية بين الآباء :

تتأثر الاختلافات الوراثية بعدد الآباء التى استعملت فى إنتاج العشيرة ، ومدى تقاربها أو تباعدها - وراثيًا - عن بضعها البعض ؛ ففى النباتات الثنائية التضاعف .. يمكن أن تحتوى العشيرة الناتجة من تلقيح فردى single cross على أحد آليلين فقط فى كل موقع جينى ، ويزيد هذا الرقم إلى ثلاثة ، وأربعة فى العشائر الناتجة من التلقيحات الثلاثية three - way crosses ، والمزدوجة (الرباعية) double crosses على التوالى ... وهكذا ، وهو ما يعنى توفر قدر أكبر من الاختلافات الوراثية . ولهذا الأمر أهمية خاصة فى برامج التربية التى يكون فيها عدة دورات من الانتخاب المتكرر ؛ نظراً لأن مدى التقدم الذى يمكن تحقيقه بالانتخاب يتوقف على عدد آليلات كل جين فى عشيرة الأساس Base Population التى يبدأ فيها الانتخاب . وكلما زاد عدد الآباء المستعملة فى كل دورة انتخاب .. زادت الاختلافات الوراثية التى تتوفر للانتخاب .

وكلما كانت الآباء المستعملة فى إنتاج عشيرة الأساس متباعدة عن بعضها البعض وراثياً (أى مختلفة فى أنسابها) .. زادت فرصة مشاركتها بآليلات مختلفة فى مختلف المواقع الجينية . كما يعمد المربى إلى الحد من النقص فى الاختلافات الوراثية -الذى يحدث نتيجة للتربية الداخلية أثناء إجراء برنامج التربية- بانتخاب سلالات لدورات الانتخاب ، تنتمى (أو تنتسب) إلى تلقيحات أصلية مختلفة .

هـذا .. ولاتعـــنى المناقشة السابقـــة أن يعمـــد المربى إلـــى إدخال آباء غـــريبة exotic parents (وهى الأصناف أو السلالات التى لاتكون منتجة ، أو مزروعة فى المنطقة التى تنتج لأجلها الأصناف الجديدة) لمجرد زيادة الاختلافات الوراثية فى عشيرة الأســاس ؛ لأن هذه الزيادة تكون مصاحبة بانخفاض عام فى متوسط العشيرة . ولاينصح بإدخال مثل هذه الآباء إلا فى برامج الانتخاب المتكرر الطويلة المدى .

(ب) مدى التربية الداخلية فى العشيرة قبل التقييم والانتخاب :

يزداد التباين الإضافى دائماً بزيادة التربيــة الـداخلية فى العشـيرة ، ويـزداد معـها - أيضًا - التقدم الوراثى الممكن فى كل دورة انتخاب ؛ إلا أنه يجب تقدير ذلك فى ضوء الوقت الإضافى الذى يلزم للتربية الداخلية .

(جـ) عدد الأجيال الانعزالية بين دورات التربية :

تزداد فرصة حدوث العبور بين الجينات المرتبطة -وتظهر انعزالات جديدة- بزيادة عدد أجيال التلقيح العشوائى فى العشيرة ، وهو ما يسهم فى زيادة الاختلافات الوراثية . ورغم أن زيادة عدد الأجيال فى كل دورة انتخاب يمكن أن يؤثر سلبيًا على التقدم الوراثى ، الذى يمكن تحقيقه سنويًا .. إلا أن ذلك التأثير لايحدث فى الحالات التى تكون فيها الأجيال الإضافية فى غير المواسم التى يجرى فيها الانتخاب .

٥- الاختــلافات داخل القطع التجريبية Within Polt Variability (V_u ، و V_{wg} ، و V_w)

تتحدد الاختلافات داخل القطع التجريبية (V_w) بكل من البيئة (V_u) والانعزالات الوراثية (V_{wg}) ، وترتبط ارتباطاً وثيقًا بعدد النباتات التى يضمها القطاع (n) ، وهى النباتات التى يؤخذ متوسطها ليمثل متوسط القطعة التجريبية . وتكون n مساوية للواحد الصحيح عند انتخاب النباتات الفردية من العشيرة ؛ أما فى حالات تقييم السلالات أو العائلات . فإن قيمة n ترتبط بحجم القطعة التجريبية . ويمكن تقدير مدى تأثير زيادة عدد النباتات بكل قطعة تجريبية على V_w ؛ بافتراض قيمة ثابتة للاختلافات الكلية - ولتكن

٧٠٠ – مع تغيير أعداد النباتات المنتخبة n كما يلى :

n	$\sqrt{V_w / n}$
١	٢٦,٥
٢	١٨,٧
٣	١٥,٣
٤	١٣,٢
٥	١١,٨
١٠	٨,٤
٢٠	٥,٩
٣٠	٤,٨
٤٠	٤,٢
٥٠	٣,٧
٦٠	٣,٤
١٠٠	٢,٦

يلاحظ أن الفائدة – التى يتحصل عليها من جراء زيادة عدد النباتات بالقطعة التجريبية – تتناقص بزيادة n . فبينما يكون الفرق –فى هذا المثال– ١٨,١ وحدة عند زيادة عدد النباتات من ١ إلى ١٠ .. فإن الفرق يتضاءل إلى ٠,٨ وحدة عند زيادة عدد النباتات من ٦٠ إلى ١٠٠ بكل قطعة تجريبية . وعلى المربى أن يقدر –بنفسه– عدد النباتات الأمثل بكل وحدة تجريبية للصفات التى يرغب فى تقييمها .

٦– الاختلافات بين القطع التجريبية Plot-to-Plot Variation (V) :

ترتبط الاختلافات بين القطع التجريبية بالاختلافات البيئية ، وهى التى يمكن تخفيضها، إما بتقليل عدد الوحدات التجريبية فى كل مكررة ، وإما بإنقاص مساحة كل وحدة تجريبية . ويؤدى ذلك إلى نقص المساحة المخصصة لكل مكررة ؛ ومن ثمَّ .. إلى زيادة احتمالات تجانس التربة فى المكررة الواحدة .

٧- الخطأ التجريبى Experinental Eror (V_e) :

يؤدى أى انخفاض فى V_u ، أو V_{wg} ، أو V إلى انخفاض فى V_e . كما تتحدد أهمية V_e بكل من عدد المكررات (r) ، وعدد البيئات (t) التى تجرى فيها الاختبارات ؛ كما يتضح فى الموضوع التالى .

٨- التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة Genotype x Environment Interaction (V_{ge}) :

يمكن الحد من تأثير التفاعل بين التركيب الوراثى والبيئة ؛ بتقييم السلالات فى عدة بيئات (t) ، مع حفظ التوازن المناسب بين عدد المكررات (r) وعدد البيئات ، علما بأن زيادة عدد البيئات يكون له تأثير أكبر على V_{ge} . ورغم أن التقدم الوراثى المتوقع بالانتخاب يكون أعلى مايمكن عند تقييم السلالات فى مكررة واحدة بعدة بيئات .. إلا أن ذلك لايكون عمليًا ، ولايجرى -عادة- بسبب زيادة التكاليف ؛ ويكتفى -عادة- بزراعة عدد من المكررات فى عدد محدود من البيئات (عن Fehr ١٩٨٧) .

٩- الانتخاب غير المباشر :

يكون الانتخاب أسرع ، ويتم التوصل إلى الصنف الجديد فى برامج التربية فى وقت أقل ، لو كان بالإمكان الاستدلال على الصفة الأولية primary character التى يراد انتخابها - مثل صفة المحصول - من صفات أخرى ثانوية secondary characters - مثل صفات حجم الورقة واتجاه نموها leaf orientation ، وارتفاع النبات ، والتفريغ ، أو تكوين الخلفات ، ومدى تعمق الجذور ، ومعدل البناء الضوئى .. إلخ . وتُلخص أهمية العلاقة بين الصفة الثانوية والصفة الأولية بالمعادلة التالية :

$$\frac{CR_x}{R_x} = r_A \frac{i_y h_y}{i_x h_x}$$

حيث تمثل :

CR_x : التحسين المتحصل عليه فى الصفة الأولية بالانتخاب غير المباشر للصفة الثانوية .

R_x : التحسين المتحصل عليه بالانتخاب المباشر للصفة الأولية

r_A : الارتباط الوراثي بين الصفة الأولية (x) والصفة الثانوية (y) .

i_y : شدة الانتخاب للصفة الثانوية .

i_x : شدة الانتخاب للصفة الأولية .

h_y : الجذر التربيعي لدرجة التوريث على النطاق الضيق الخاصة بالصفة الثانوية .

h_x : الجذر التربيعي لدرجة التوريث على النطاق الضيق الخاصة بالصفة الأولية (عن Falconer ١٩٨١) .

وتعرف شدة الانتخاب بأنها : النسبة بين عدد الأفراد أو السلالات المنتخبة إلى عدد الأفراد أو السلالات المختبرة . ولايكون الانتخاب غير المباشر للصفات الثانوية مجديًا إلا إذا كان التعرف عليها أسهل ، ويتطلب جهدا ووقتاً أقل مما يلزم للتعرف على الصفات الأولية . كما تزيد فاعلية الانتخاب غير المباشر إذا كانت درجة التوريث على النطاق الضيق أعلى في الصفة الثانوية مما في الصفة الأولية . ويتأتى ذلك إذا كانت الصفة الثانوية ذات تباين إضافي كبير نسبيا ، أو كانت أقل تأثرا بالتغيرات البيئية ، أو أقل تفاعلا مع البيئة . ونظراً لأن الجذر التربيعي لدرجتي توريث الصفتين الأولية والثانوية هو الذى يدخل فى المعادلة التى تبين العلاقة بينهما ؛ لذا .. فإن من الضرورى أن تكون درجة توريث الصفة الثانوية أعلى بكثير من درجة توريث الصفة الأولية ؛ حتى تظل النسبة بينهما كبيرة بعد استخراج الجذر التربيعي لكل منهما .

ولاتوجد فائدة ترجى من الانتخاب غير المباشر إن لم يوجد ارتباط وراثي واضح بين الصفتين الأولية والثانوية . ويقدر هذا الارتباط بتقييم تراكيب وراثية مناسبة لذلك فى ظروف بيئية متباينة ؛ حيث يستدل من ارتباط الشكل الظاهرى phenotypic correlation بين الصفتين -مبدئيا- على العلاقة بين الصفتين . ويتطلب قياس الارتباط الوراثي genetic correlation بين الصفتين استعمال تراكيب وراثية عشوائية من عشائر منعزلة ، كما يستفاد – أحياناً – من السلالات ذات الأصول الوراثية المتشابهة فى هذا الشأن .

هذا .. ويقدر الارتباط الوراثى بالمعادلة التالية :

الارتباط الوراثى =

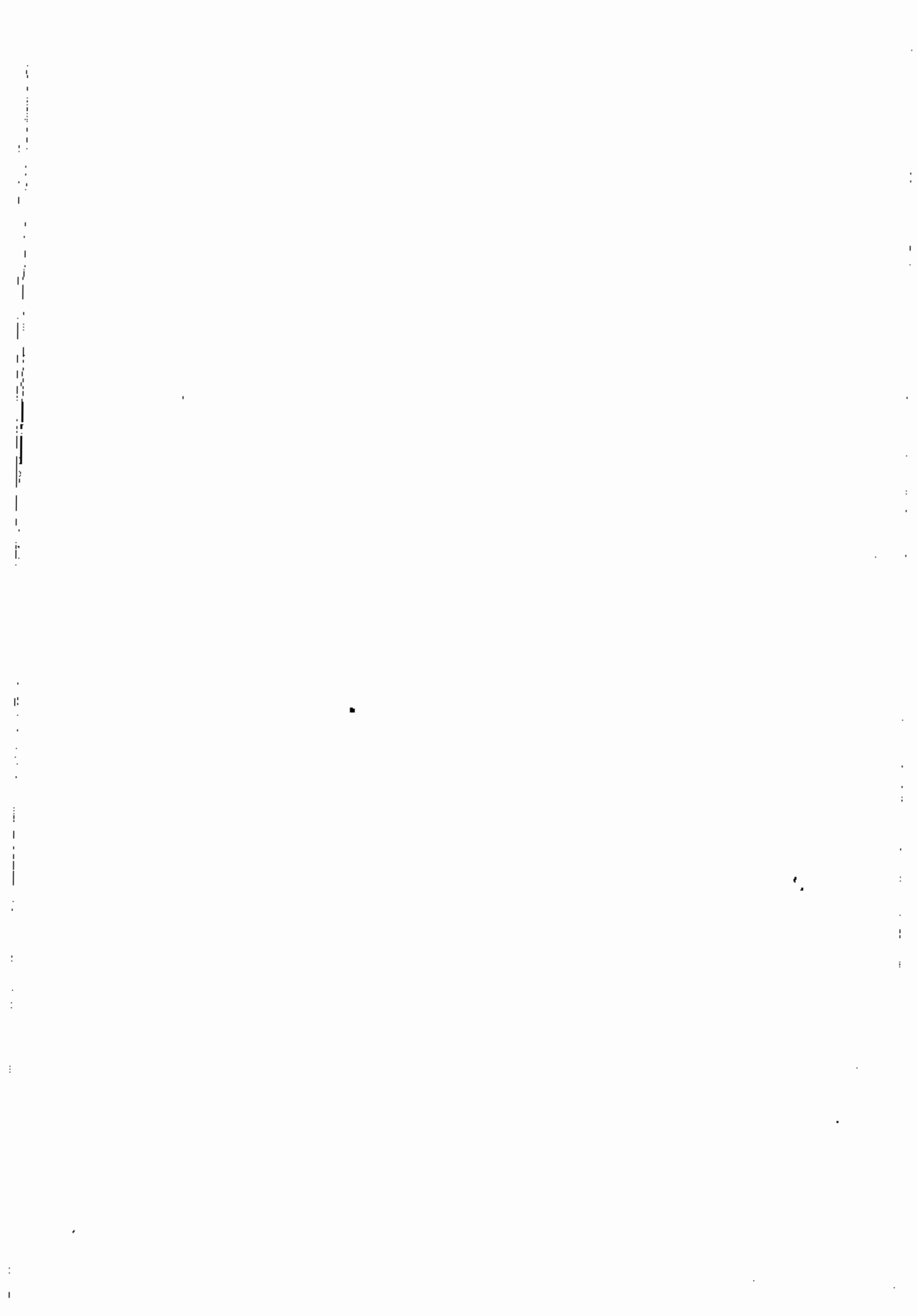
$$\frac{\text{التبـاين الوراثى المرافق genetic co-variance للصفتين الأساسية والثانوية}}{\sqrt{\text{التبـاين الوراثى للصفة الأساسية × التبـاين الوراثى للصفة الثانوية}}}$$

أما ارتباط الشكل المظهرى فيقدر بالمعادلة التالية :

ارتباط الشكل المظهرى =

$$\frac{\text{متوسط حاصل ضرب قيمة الصفتين الأساسية والثانوية فى الأفراد المختبرة}}{\sqrt{\text{متوسط مربع قيمة الصفة الأساسية × متوسط مربع قيمة الصفة الثانوية فى نفس الأفراد}}}$$

(عن Kwon & Torrie ١٩٦٤) .



الفصل السابع

طرق التربية بالانتخاب المباشر

نتناول فى هذا الفصل طرق التربية التى تعتمد على الانتخاب المباشر فى الاختلافات الوراثية المتوفرة ، دون أن يقوم المربى بإجراء أية تلقيحات ، وهى التى تعد من أبسط طرق التربية . وتجدر الإشارة إلى أن الانتخاب لايؤدى إلى إحداث تغيرات وراثية ، ولكنه يجرى فى وجودها . كما أن الانتخاب لايكون مجدياً إلا إذا كانت الاختلافات المتوفرة وراثية .

انتخاب السلالة النقية

سبق أن عرفنا السلالة النقية Pure Line – فى الفصل الثالث– بأنها : نسل نبات واحد ذاتى التلقيح ، وبيّنا أن أفرادها تكون أصيلة وراثيًا homozygous ، بنســبة ١٠٠٪ ، وأنها تكون متجانسة homogenous وراثيًا تماماً . يتبين من تعريف السلالة النقية أنها لاتتوفر إلا فى النباتات الذاتية التلقيح ؛ لذا .. فإن التربية بطريقة انتخاب السلالة النقية Pure Line Selection لاتتبع إلا مع هذه الفئة من النباتات . وتكون بداية برنامج التربية – عادة – فى عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية كالأصناف البلدية أو الأصناف القديمة غير المعتنى بها ، والتى تكون قد تراكمت فيها الاختلافات الوراثية ؛ نتيجة للتلقيح الاعتباطى مع أصناف أخرى ، أو نتيجة لحدوث الطفرات بها . وتتلخص خطوات التربية فيما يلى :

١– يُنتخَبْ عدد كبير من النباتات من عشيرة الأساس . وتعد هذه الخطوة غاية فى

الأهمية ؛ لأن النباتات المنتخبة تمثل الحد الأقصى للاختلافات الوراثية التى يمكن الحصول عليها ؛ ذلك لأن كلاً منها يعطى نسلاً عبارة عن سلالة نقية ، تتماثل جميع أفرادها -وراثياً- مع بعضها البعض ، ومع النبات الذى نشأت منه ؛ وعليه .. فإن كانت النباتات المنتخبة عديمة الجدوى .. فإن الانتخاب فيها لن يقود إلى أى تقدم .

٢- يزرع نسل كل نبات منتخب على حدة فى الموسم التالى ؛ لملاحظته ، والتخلص من أية سلالة نقية تظهر فيها عيوب واضحة . وتستمر هذه الخطوة -عادة- لعدة مواسم زراعية ؛ بغرض التخلص من أكبر عدد من السلالات قبل البدء فى المرحلة الثالثة والأخيرة من برنامج التربية ، والتى تكون على نطاق واسع . ويمكن -عن طريق العدوى الصناعية بالحشرات ومسببات الأمراض الهامة- التخلص من عدد آخر من السلالات .

وتجدر الإشارة إلى أن التلقيح الذاتى الطبيعى - فى هذه الفئة من النباتات - يُسهِّل كثيراً من مهمة المربى الذى يكتفى بتعليم السلالات المرغوبة ، ثم حصاد بذورها دونما حاجة لتكييسها أو عزلها ؛ نظراً لعدم حدوث خلط وراثى بين السلالات بعضها ببعض . كما أن استمرار التلقيح الذاتى يعمل على استمرار احتفاظ كل سلالة بصفاتها ؛ مما يجعل من الممكن خلط بذور كل سلالة -معاً- منذ البداية .

٣- تجرى الخطوة الأخيرة بعد أن يعجز المربى عن التخلص من أية سلالات أخرى بمجرد الملاحظة ؛ حيث يقوم -حينئذ- بمقارنة السلالات المتبقية بالأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة فى تجارب موسعة ، يقدر فيها المحصول والصفات الاقتصادية الهامة . ويتم - فى النهاية - انتخاب سلالة واحدة ، تكون هى أساس الصنف الجديد .

وتجدر الإشارة إلى أن الأصناف الجديدة التى تنتج بهذه الطريقة تنشأ من تراكيب وراثية ، توجد منذ البداية فى العشيرة الأصلية ، وأن كل ما يتم خلال سنوات التربية هو التعرف على هذه التراكيب ، وإثبات أنها أفضل من التراكيب الوراثية الأخرى ، ومن الأصناف التجارية المستعملة فى الزراعة .

ولهذه الطريقة أهمية كبيرة فى تحسين الأصناف البلدية ، وقد اتبعت فى تحسين جميع المحاصيل الاقتصادية الهامة الذاتية التلقيح ؛ كالقمح ، والأرز ، والفاصوليا ، والبسلة ؛ فأمكن فى البسلة -على سبيل المثال- انتخاب نباتات مقاومة للسلالة رقم ٦ من الفطر

Fusarium oxysporum f.sp. *pisi* المسبب لمرض الذبول الفيوزارى . وقد وجدت النباتات المقاومة بنسبة تقل عن ٠,٢٪ . كما وجدت اختلافات وراثية بين النباتات -فى عدد من الأصناف التجارية- فى صفات : موعد الإزهار ، وعدد العقد حتى الزهرة الأولى ، وطول النبات . وقد تمكن Haglund & Anderson (١٩٨٧) من انتخاب سلالات نقية من الصنفين إيرلى فروستى Early Frosty ، ودارك سكن برفكشن Dark Skin Perfection ، اختلفت - جوهريًا - عنهما فى صفات : عدد الأيام حتى الإزهار ، وعدد السلاميات حتى أول زهرة ، والمحصول ، كما وجدا لدى مقارنة سلالة منتخبة من كل صنف مع الصنف الأصلى الذى انتخبت منه - لمدة خمس سنوات- أن محصولهما كان أعلى من محصول الصنفين الأصليين بمتوسط قدره ٤٤٪ لإحداهما ، و ٥٦٪ للأخرى . هذا .. بينما لم تختلف السلالات المنتخبة عن الصنف الأصلى الذى نشأت منه فى الصفات المورفولوجية العامة المميزة للصنف ، وهو ما يدل على أنها لم تكن راجعة إلى خلط ميكانيكى لبذور الصنف مع صنف آخر .

الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح

تتشابه طريقة الانتخاب الإجمالى Mass Selection فى النباتات الذاتية التلقيح مع طريقة انتخاب السلالة النقية فى المرحلتين الأولى والثانية من برنامج التربية ؛ حيث يتم انتخاب عدد كبير من نباتات عشيرة ، تكثر فيها الاختلافات الوراثية ، ثم زراعة نسل كل نبات على حدة لعدة مواسم زراعية ؛ لاستبعاد السلالات التى تكون صفاتها غير مرغوبة - كما سبق بيانه فى طريقة انتخاب السلالة النقية - ويلى ذلك .. خلط بذور السلالات النقية ذات الصفات المرغوبة معًا ، ومقارنتها بالأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة فى تجارب موسعة ، تستمر لثلاثة مواسم زراعية ؛ يقدر فيها المحصول والصفات الاقتصادية الهامة . ويتم فى النهاية .. اعتماد مخلوط السلالات كصنف جديد ، إذا ثبت أنه يفوق الأصناف التجارية المعروفة .

يتضح مما تقدم أن طريقة الانتخاب الإجمالى لاتختلف - فى جوهرها - عن طريقة انتخاب السلالة النقية ، سوى فى كون الصنف الجديد يتألف فى هذه الطريقة من مجموعة من السلالات النقية الممتازة ، بينما يتكون من سلالة نقية واحدة فى طريقة انتخاب السلالة النقية . وتعد هذه الطريقة - كسابقتها - ذات أهمية كبيرة فى تحسين الأصناف البلدية ،

كما تفيد -أيضًا- فى تحسين الأصناف الجديدة المستوردة إذا كانت بها عيوب ظاهرة .

ويجرى الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح -عادة- بطريقة أخرى ، تتشابه مع تلك المتبعة مع النباتات الخلطية التلقيح ، وذلك بانتخاب عدد كبير من النباتات التى تظهر بها الصفات المرغوبة . وحصادها ، ثم خلط بذورها -معًا- وزراعتها فى دورة أخرى من الانتخاب . وتكرر هذه العملية إلى أن يتوقف التحسين مع الانتخاب ، ثم تقارن العشيرة المنتخبة مع الأصناف التجارية الشائعة فى الزراعة . وتعتبر هذه الطريقة مناسبة لإجراء تحسين وراثى سريع فى صفات معينة ؛ مثل : ارتفاع النبات ، وموعد النضج ، وحجم البذور ، ومقاومة الآفات ، والقدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية ؛ حيث يكفى استئصال النباتات التى لاتحمل الصفات المرغوبة ، وحصاد البذور من النباتات المتبقية فى الحقل . ويمكن اتباع طرق خاصة تزيد من كفاءة عملية الانتخاب لمثل هذه الصفات ؛ مثل: العدوى الصناعية بمسببات الأمراض ، والزراعة فى الأراضى الملحية أو الجيرية ... إلخ ، وتقليم النباتات على الارتفاع المرغوب ، ثم حصاد العشرة سنتيمترات القمية فقط (كما فى الشوفان) ، واستعمال الغرابيل فى انتخاب البذور الكبيرة الحجم (كما فى الفاصوليا ، وفول الصويا) .

ويعاب على الانتخاب الإجمالى فى النباتات الذاتية التلقيح أن فرصة تكوين تراكيب وراثية جديدة تكون معدومة تقريباً ، إذا كان التلقيح الذاتى تاماً ؛ لذا .. فإن التحسين الوراثى يبقى دائمًا فى حدود ما هو موجود أصلاً فى العشيرة .

الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح

اتبعت طريقة الانتخاب الإجمالى فى تحسين كثير من المحاصيل الخلطية التلقيح ، خلال النصف الأول من هذا القرن ، ومازالت مستعملة فى بعض المحاصيل . ورغم اختلاف تفاصيل هذه الطريقة فى النباتات الخلطية التلقيح عما سبق بيانه بالنسبة للنباتات الذاتية التلقيح .. إلا أن مضمونها واحد فى كل منهما ؛ إذ يكون الهدف هو تحديد التراكيب الوراثية المرغوبة ، وخلطها -معًا- لتكون أساساً للصنف الجديد .

يبدأ برنامج التربية بانتخاب عدد كبير من النباتات التى تبدو صفاتها جيدة ، من عشيرة تكثر فيها الاختلافات الوراثية ، ويكون الانتخاب على أساس الشكل الظاهرى .

يتبع ذلك .. خلط البذور الناتجة من النباتات المنتخبة - معاً - ثم زراعتها فى الموسم التالى ؛ لإجراء دورة أخرى من الانتخاب ، وهكذا ... تستمر دورات الانتخاب ؛ إلى أن يتحقق التحسين المطلوب ، أو إلى أن يصبح الانتخاب غير مُجْدٍ . ويستغرق إنتاج الصنف الجديد بهذه الطريقة نحو ثمانى سنوات .

وتكون هذه الطريقة أكثر فاعلية ، ويكون الانتخاب أكثر جدوى لو أمكن الانتخاب للصفات المرغوبة قبل الإزهار ؛ حيث يمكن -حينئذ- إزالة النباتات غير المرغوبة من العشيرة ، وترك النباتات المرغوبة فقط ؛ ليحدث التلقيح فيما بينها . أما إن لم يمكن الانتخاب للصفات المرغوبة إلا بعد حدوث التلقيح -كما فى جميع الصفات التى تعتمد على الثمار العاقدة ، التى منها صفة المحصول فى النباتات الثمرية - فإن النباتات التى تُنتَخب تكون قد لُقِّحت بنباتات أخرى ، قد تكون ذات صفات مرغوبة ، أو غير مرغوبة ؛ أى إن نصف الجينات التى توجد فى النباتات المنتخبة تكون قد حصلت عليها من آباء غير معلومة ، وهو ما يؤدى إلى بطء التحسن الوراثى . هذا .. ويمكن بالنسبة للنباتات ذات الحولين -كبنجر السكر- والمعمرة إجراء التقييم والانتخاب فى موسم نمو ، وإنتاج البذور فى الموسم التالى .

وكما سبق بيانه (تحت موضوع توازن هاردى - فينبرج فى الفصلين : الرابع ، والسادس) .. فإنه يمكن التخلص من الأليلات السائدة غير المرغوبة كلية فى جيل واحد من الانتخاب ، بينما تبقى الأليلات المتنحية غير المرغوبة مستترة فى الحالة الخليطة . ويكون التقدم الحادث بالانتخاب أعلى بكثير عندما تكون نسبة الأليل المتنحى غير المرغوب مرتفعة فى عشيرة الأساس عما لو كانت نسبته منخفضة .

المزايا

١- تفيد طريقة الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح فى إنتاج أصناف جديدة من السلالات البرية ، وفى تحسين الأصناف البلدية ، ومخاليط الأصناف ، والأصناف المستوردة التى توجد بها عيوب ظاهرة ، وفى المحافظة على نقاوة الأصناف التى لا تلقى عناية خاصة عند إنتاج بذورها .

٢- تعد أسهل طرق التربية وأسرعها ؛ لأنها لاتحتاج إلى تلقيحات متُحكُم فيها لإنتاج

الصنف ، ولعدم الحاجة إلى إجراء اختبارات خاصة للصنف المنتج .

٣- تعد الطريقة الوحيدة الممكنة لتحسين الأصناف البلدية والسلالات البرية من المحاصيل الخلطية التلقيح .

٤- أعطت هذه الطريقة نتائج جيدة بالنسبة للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة ، والصفات التى يمكن التعرف عليها بسهولة ؛ فهى قد اتبعت بنجاح فى إنتاج أصناف جديدة من الذرة ، تختلف فى لون الحبوب ، وحجم الكوز ، وموقعه على الساق ، وموعد النضج ، ونسبة الزيت والبروتين فى الحبوب .

العيوب

تعتبر طريقة الانتخاب الإجمالى بطيئة ، عندما يرغب فى تحسين المحصول ، والصفات الكمية فى النباتات الخلطية التلقيح ، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية :

١- عدم القدرة على تمييز التراكيب الوراثية الجيدة على أساس الشكل المظهرى فقط ؛ نظراً لتأثر الصفات الكُمية بشدة بالعوامل البيئية .

٢- حصول النباتات المنتَخَبة على حبوب لقاح من نباتات غير منتَخَبة ؛ بسبب التلقيح الخلطى المفتوح .

٣- يؤدى الانتخاب الشديد إلى صغر حجم العشيرة ؛ مما يُحْدِث نوعًا من التربية الداخلية ، ويتسبب - بالتالى - فى ضعف قوة نمو النباتات .

٤- تبقى - دائماً - نسبة من الجينات المنتخبة غير المرغوبة فى العشيرة مستترة فى التراكيب الوراثية الخليطة .

العوامل المؤثرة على درجة الاستجابة للانتخاب

تتأثر درجة الاستجابة للانتخاب بالعوامل التالية :

١- مدى توفر الاختلافات الوراثية فى العشيرة الأصلية :

يكون أثر الانتخاب واضحاً فى السلالات البرية ، والأصناف البلدية التى تكثر فيها الاختلافات الوراثية ، ولكن يقل التحسن الوراثى بعد بضع دورات انتخابية ؛ نتيجة لثبات الصفات ويعمل الانتخاب فى هذه الحالة على الاختلافات الوراثية الحرة

Free Variability ، التى تتوفر فى العشيرة .

٢- مدى توفر الاختلافات الوراثية الكامنة :

يعنَى بالاختلافات الكامنة Potential Variability تلك التى يمكن أن تظهر فى أى وقت ، بعد حدوث عبور فى مناطق معينة من الكروموسومات ، يؤدى إلى ظهور انعزالات وراثية جديدة فى التراكيب العبورية ، ولذلك أهمية كبيرة فى تحسين الصفات الكمية ، التى يتحكم فى وراثتها عدد كبير من العوامل الوراثية ؛ حيث يحدث -عادة- تقدم سريع فى الانتخاب بعد كل حالة عبور .

٣- درجة توريث الصفات :

تزداد سرعة الاستجابة للانتخاب بزيادة درجة توريث الصفات المنتخبة .

٤- درجة التربية الداخلية :

يؤدى الانتخاب الشديد للصفات إلى اختيار عدد قليل من النباتات التى تتوفر فيها الصفات المرغوبة لتكوين الجيل التالى ، وهو ما يؤدى إلى حدوث نوع من التربية الداخلية ، التى يكون لها أثر سيئ على قوة النمو . وكذلك يُحدثُ الانتخاب الشديد تغيراً فى الهيكل الوراثى للعشيرة genetic drift ، يكون مُصَاحَباً بتغير فى نسب الآليلات المختلفة بها ؛ مما يؤثر على صفاتها العامة المميزة ؛ ويكون لذلك كله انعكاساته السلبية على درجة الاستجابة للانتخاب .

بعض التعديلات المدخلة على طريقة الانتخاب الإجمالى

تجرى بعض التعديلات على طريقة الانتخاب الإجمالى ؛ بغرض زيادة كفاءتها فى تحسين النباتات الخلطية التلقيح ، ومن هذه التعديلات ما يلى :

١- اختبار النسل :

يُجرى اختبار النسل Progeny Testing بتقييم ١٠-١٥ نباتاً من نسل كل نبات منتخب . ويفيد اختبار النسل فى التأكد من أن النباتات المتميزة المنتخبة تورث صفاتها المرغوبة للنسل . ولهذا الاختبار أهمية خاصة بالنسبة للصفات الكمية والصفات ذات

درجات التوريث المنخفضة ، كما يفيد فى التأكد من جودة نسل النباتات التى انتخبت بعد الإزهار ، ولقحت بنباتات غير منتخبة . ويفضل -دائماً- إجراء اختبار النسل فى مكررات . وتنتج الأنسال لاختبارها بإحدى الطرق التالية :

(أ) بحصاد بذور النباتات المنتخبة التى تركت للتلقيح الخلطى المفتوح .

(ب) بحصاد بذور النباتات المنتخبة بعد تلقيحها ذاتياً .

(ج) بحصاد بذور التلقيح القمى top cross بين كل من النباتات المنتخبة - التى تستعمل كأب - وصنف تجارى ناجح يستعمل كأم ، ويعرف باسم الصنف الاختبارى Tester Variety . كما يلقح -أيضاً- كل نبات منتخب ذاتياً ، وتحصد هذه البذور كذلك . وبناء على نتيجة تقييم التلقيح القمى .. يتم تحديد النباتات ذات الصفات المرغوبة ، وهى التى تخلط بذورها الناتجة من التلقيح الذاتى معاً ؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب .

٢- خلط السلالات المرباة داخلياً :

تربى بعض السلالات بالتلقيح الذاتى لعدة أجيال ، ثم تخلط بذور السلالات المنتخبة معاً ؛ لتكون أساساً للصنف الجديد ، وتعرف هذه الطريقة باسم line breeding ، وهى تفيد فى التخلص من بعض الآليلات المتنحية غير المرغوبة ، ولكنها نادراً ماتتبع فى تحسين النباتات الخلطية التلقيح لما يصاحبها من نقص فى قوة النمو ؛ بسبب التربية الداخلية ، الأمر الذى يجعل من الصعب تقييم السلالات التى يُراد إدخالها فى الصنف الجديد . هذا .. فضلاً عن أن هذه الطريقة تشجع على ظهور سلالات ، تزداد فيها نسبة التلقيح الذاتى ، بينما يكون من المرغوب زيادة نسبة التلقيح الخلطى بين السلالات التى تشكل الصنف الجديد ، للحصول على أكبر قدر من قوة الهجين ويفضل - عند اتباع هذه الطريقة - أن يكون عدد السلالات التى تدخل فى تكوين الصنف الجديد كبيراً ؛ حتى لاتكون قريبة من بعضها البعض ، ولزيادة فرصة ظهور قوة الهجين فى الصنف الجديد .

٣- الانتخاب الإجمالى المبنى على تمثيل كافة الظروف البيئية :

يعرف الانتخاب الإجمالى المبنى على تمثيل كافة الظروف البيئية فى الحقل باسم Stratified Mass Selection ، ويجرى بتقسيم الحقل الذى تجُرى فيه عملية الانتخاب إلى عدة أقسام متساوية ، ثم ينتخب من كل منها عدد متساو من النباتات ، وهى التى

تحصد بذورها وتخلط معًا ؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب . وتفيد هذه الطريقة في تقليل تأثير البيئة إلى أدنى مستوى ممكن ؛ نظراً لأنها تضمن تمثيل كل الظروف البيئية في منطقة الدراسة .

٤- طريقة الكوز للخط ear-to-row method :

تعرف طريقة تقييم نسل النباتات المنتخبة التي تُرِكَت للتلقيح الخلطي الطبيعي (الطريقة ١ أ) عند تطبيقها على الذرة باسم طريقة الكوز للخط . وقد أدخلت هذه الطريقة بواسطة G.G. Hopkins في عام ١٨٩٧ ، وفيها تحصد الكيزان الممتازة من النباتات التي تعرضت للتلقيح الخلطي العشوائي ، ويزرع في العام التالي جزء من بذور كل كوز في خط مستقل ، بينما يحتفظ ببقية البذور . وبعد أن ينتهي التقييم .. تخلط البذور المتبقية من الكيزان التي ظهر تفوقها معًا ؛ لبدء دورة جديدة من الانتخاب في الموسم التالي . وبذا .. فإن كل دورة انتخاب تستمر لمدة موسمين زراعيين .

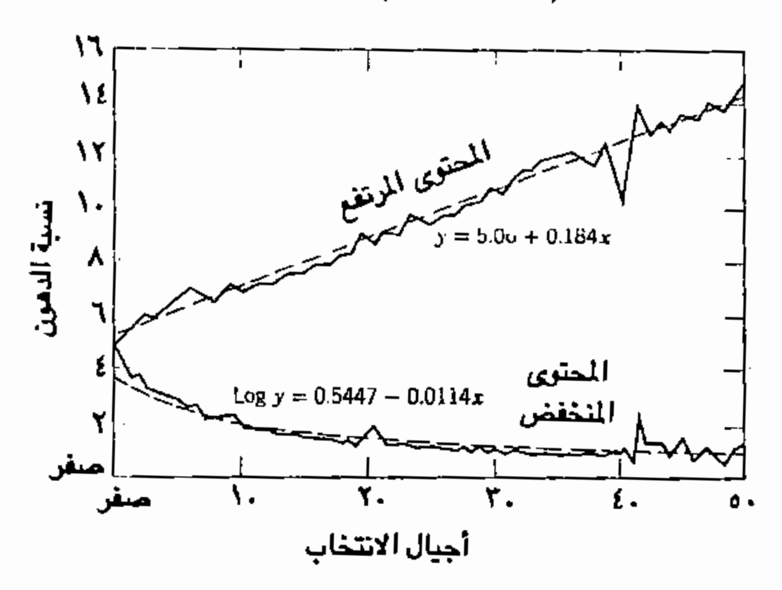
وقد أفادت هذه الطريقة في تحسين محصول الذرة في محتواه من الدهون والبروتين في سنوات قليلة ، واستمر التحسين مع استمرار الانتخاب . ولكن النتائج كانت مخيبة للآمال بالنسبة للمحصول ؛ ويرجع السبب في ذلك إلى أنها لاتفيد في تقييم التركيب الوراثي للنباتات المنتخبة بصورة جيدة (حيث لايُقيَّم كل نسل سوى في خط واحد في منطقة واحدة) ، فضلاً على أن النباتات المنتخبة (التي تقيم أنسالها) .. تتلقى دائماً حبوب لقاح من نباتات غير منتخبة

تحسين نسبتي الدهون والبروتين في الذرة بطريقة الانتخاب الإجمالي

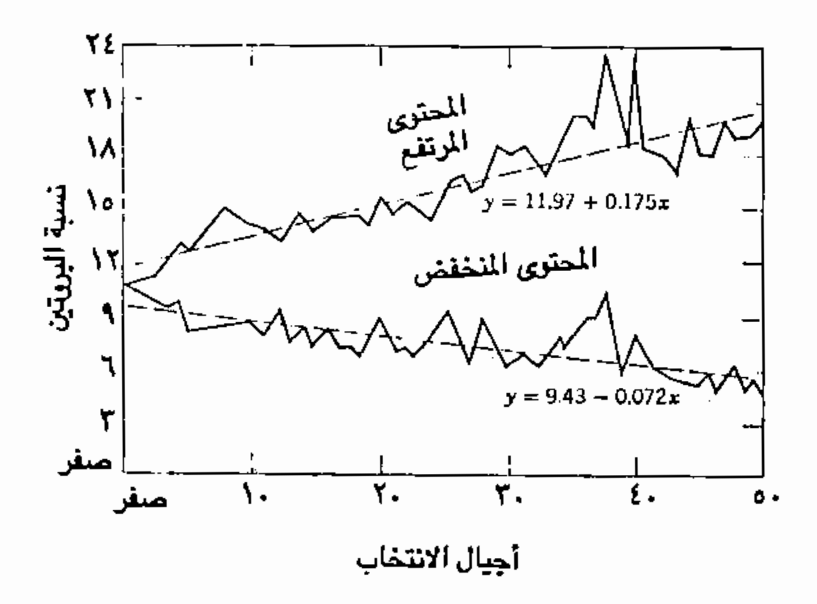
يعد برنامج تحسين نسبة الدهون والبروتين في حبوب الذرة - بالانتخاب الإجمالي- من الدراسات الكلاسيكية في تربية النبات . وقد بدأ الانتخاب في الصنف المفتوح التلقيح برزهوايت Burr's White في جامعة إلينوي بالولايات المتحدة الأمريكية في عام ١٨٩٦ ، واستمر إلى الوقت الحاضر باستثناء الفترة من ١٩٤٢ إلى ١٩٤٤ . وكان الهدف هو إنتاج أربع سلالات من الذرة مرتفعة -أو منخفضة- في نسبة كل من الدهون والبروتين في الحبوب ، واتبعت طريقة الكوز للخط خلال الأجيال الثمانية والعشرين الأولى منها . أما

بعد ذلك .. فكان يؤخذ ٦٠ كوزًا من كل من السلالات الأربع للتقييم ، ثم تخلط معًا حبوب أكثر ١٢ كوزًا من كل سلالة إظهاراً للصفة المنتخبة .

وقد أعطى الانتخاب لنسبة البروتين المرتفعة تحسنا مستمراً ؛ حيث ارتفعت النسبة من ١٠,٩٪ في عشيرة الأساس إلى ١٣,٧٪ ، و ١٦,١٪ ، و ١٩,٣٪ ، و ٢٦,٦٪ في الأجيال : الخامس ، والعشرين ، والخمسين ، والسبعين على التوالي . وبالمقارنة .. فقد استمرت الاستجابة كذلك للانتخاب لنسبة البروتين المنخفضة ؛ حيث انخفضت النسبة إلى ٩,٦٪ ، و ٧,٣٪ ، و ٤,٩٪ ، و ٤,٤٪ في نفس الأجيال السابقة الذكر على التوالي . كذلك ارتفعت نسبة الدهون بانتظام من ٤,٧٪ إلى أن وصلت إلى أكثر من ١٥٪ ، بينما توقفت الاستجابة للانتخاب للمستوى المنخفض من الدهون عند حوالي ١٪ بعد ثلاثين عاماً من الانتخاب (شكلا ٧-١ ، ٧-٢) . وفضلاً على ذلك .. فإن الانتخاب في الاتجاه العكسي -لصفة نسبة البروتين أو الدهون بعد ٥٠ جيلاً من الانتخاب في اتجاه ما- أحدث تغيراً كبيراً وسريعًا في الصفة . حدث ذلك في السلالات الأربع (العالية والمنخفضة من حيث نسبة البروتين أو الدهون) ؛ مما يدل على أن العشيرة الأصلية كانت تحتوي على اختلافات وراثية أكثر مما كان متوقعا (Welsh ١٩٨١) .



شكل (٧ – ١) : تأثير خمسين جيلاً من الانتخاب على نسبة الدهون في حبوب الذرة . يمثل الخط المتصل النتائج الحقيقية ، بينما يمثل الخط المتقطع القيم المتوقعة على أساس معادلات الارتباط المبينة (عن Allard ١٩٦٠) .



شكل (٧ – ٢) : تأثير خمسين جيلاً من الانتخاب على نسبة البروتين فى حبوب الـذرة . يمثل الخط المتصل النتائج الحقيقية ، بينما يمثل الخط المتقطع القيم المتوقعة علي أساس معادلات الارتباط المبينة .

ولسوء الحظ .. فإن سلالة الذرة المرتفعة فى نسبة البروتين كان غناها بالبروتين مرده إلى ارتفاع محتواها من البرولامينات prolamines (أو الزيين zein) ، وهى بروتينات فقيرة بالحامضين الأمينيين الضروريين ليسين lysine ، وتربتوفان tryptophan ؛ لذا.. فإن هذه السلالة لم تستعمل فى أى برنامج للتربية ؛ لتحسين نسبة البروتين فى الذرة ، وقد كان محصول هذه السلالة منخفضاً ؛ حيث لم يزدْ على نحو ثلث متوسط محصول الذرة بولاية إلينوى . ويبدو أن ذلك كان مرده إلى وجود علاقة سالبة بين المحصول ونسبة البروتين (عن Alexander ١٩٧٥) .

طرز الاستجابة للانتخاب

يذكر Allard (١٩٦٤) خمسة طرز للاستجابة للانتخاب فى طريقة الانتخاب الإجمالى فى النباتات الخلطية التلقيح ، يمكن إيجازها فيما يلى :

الطراز الأول .. يحدث فيه تقدم سريع مع الانتخاب ، يليه بطء واضح . يحدث ذلك فى حالات الانتخاب لصفات خاصة ؛ مثل طول النبات ، واللون ، والمقاومة لبعض الأمراض ،

وهى صفات يتحكم فيها جينات رئيسية major ، ذات تأثير كبير على الصفة ، وأخرى ثانوية minor ذات تأثير ضعيف . ويرجع التقدم السريع - فى البداية - إلى انتخاب الجينات الرئيسية ، بينما يحدث التقدم البطئ الذى يعقب ذلك نتيجة لانتخاب الجينات الثانوية .

الطراز الثانى .. تحدث فيه استجابة بطيئة ومستمرة للانتخاب ؛ ويحدث ذلك فى حالات الانتخاب للصفات التى يتحكم فيها عدد كبير من الجينات التى تتركز ببطء - وبصفة تدريجية - مع استمرار الانتخاب ، ومن أمثلتها .. صفات المحتوى المرتفع أو المنخفض من البروتين ، والمستوى المرتفع من الدهون فى الذرة .

الطراز الثالث .. تحدث فيه استجابة بطيئة ومستمرة لفترة ، ثم تتوقف -بعدها- الاستجابة للانتخاب كلية . حدث ذلك فى حالة الانتخاب لصفة المحتوى المنخفض من الدهون فى الذرة ؛ حيث استمر الانخفاض البطئ فى نسبة الدهون لنحو ٣٠ جيلاً ، ثم توقف بعد ذلك . ورغم أن هذه الصفة يتحكم فيها أليلات أخرى من نفس الجينات التى تتحكم فى صفة المحتوى المرتفع من الدهون .. إلا أن الانخفاض فى نسبة الدهون كان مَصَاحَباً بنقص مستمر فى حجم جنين الحبة ، واستمر الانخفاض فى نسبة الدهون إلى أن أصبح الجنين صغيراً للغاية ؛ الأمر الذى أدى إلى ظهور عقبة فسيولوجية أمام الانتخاب رغم استمرار توفر الاختلافات الوراثية لتلك الصفة .

الطراز الرابع ..لاتحدث فيه أية استجابة للانتخاب . يحدث ذلك عند محاولة تحسين الصفات ذات درجات التوريث المنخفضة ؛ مثل صفة المحصول بطريقة الكوز للخط ؛ لأن مثل هذه الصفات تتطلب إجراء اختبار النسل الناتج من التلقيح الذاتى ، بينما يستحيل ذلك بطريقة الكوز للخط .

الطراز الخامس .. تحدث فيه استجابة سريعة ، ثم تتوقف الاستجابة ، ثم تتكرر مرحلتا الاستجابة السريعة والتوقف مرة أخرى . يحدث ذلك فى الحالات التى توجد فيها اختلافات كامنة ، لاتظهر إلا بعد حدوث عبور مناسب ، يؤدى إلى ظهور تراكيب وراثية جديدة ، تفيد فى عملية الانتخاب .

الفصل الثامن

الظواهر المستعملة فى إنتاج الهجن : العقم الذكرى وعدم التوافق

يستفيد المربى من عدد من الظواهر النباتية الطبيعية فى تسهيل إنتاج الهجن ، وإجراء التلقيحات . ومن هذه الظواهر انفصال الجنس ، والعقم الذكرى ، وعدم التوافق . وقد سبق تناول ظاهرة انفصال الجنس بالتفصيل فى الفصل الثانى ، ونتناول الظاهرتين الأخريين فى هذا الفصل قبل الدخول فى تفاصيل طرق إنتاج الأصناف الهجين فى الفصل العاشر .

العقم الذكرى

تنتشر ظاهرة العقم الذكرى Male Sterility انتشاراً واسعًا فى المملكة النباتية ، لدرجة أنها وجدت فى أى محصول بحث فيه عنها . كما تتكرر الظاهرة بأكثر من جين فى المحصول الواحد ؛ فيعرف – مثلا – ٢٤ زوجاً من الجينات غير الأليلة ، تتحكم فى طفرات مختلفة من العقم الذكرى فى الشعير ، ونحو ٢٤ زوجًا فى الذرة ، ونحو ٥٠ زوجًا فى الطماطم ، و ٩ أزواج فى البسلة (Myers & Gritton ١٩٨٨) .

مظاهر العقم الذكرى

تؤدى حالة العقم الذكرى إلى عدم قدرة النبات على أن يكون ملقحاً لأزهاره أو لأزهار

أية نباتات أخرى . ويأخذ العقم الذكرى أحد ثلاثة مظاهر ، هى :

١- عقم حبة اللقاح Pollen Sterility :

تخلو المتوك فى هذه الحالة من حبوب اللقاح ، أو تنتج بها حبوب لقاح ضامرة ، لاتصلح للتلقيح .

٢- عقم الأسدية Staminal Sterility :

تتحور أسدية الطلع فى هذه الحالة إلى تراكيب أخرى ، أو قد تختفى كلية ؛ ففى الجزر - مثلاً - توجد سلالات عقيمة الذكر ، تتحور فيها الأسدية إلى تراكيب بتلية مختلفة الأشكال ، ويطلق على الظاهرة فى هذه الحالة اسم Petaloidy (Eisa & Wallace ١٩٦٩) .

٣- عدم تفتح المتوك Positional sterility :

تفشل المتوك فى هذه الحالة فى التفتح ، رغم أنها تكون ممتلئة بحبوب لقاح خصبة ، قادرة على إحداث الإخصاب لو أنها استعملت فى التلقيح يدوياً .

ويُعنى بالعقم الذكرى -عادة- عقم حبة اللقاح ؛ لأنه أكثر مظاهر العقم شيوعاً . وأيًّا كان مظهر العقم .. فإنه قد يتحكم فيه عوامل وراثية فى النواة ، أو فى السيتوبلازم ، أو فى كليهما .

العقم الذكرى الوراثى

ينتشر العقم الذكرى الوراثى genetic male sterility فى جميع النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ، سواء أكانت برية أم مزروعة . ويتحكم فى هذا النوع من العقم - عادة - عامل وراثى واحد مُتنَحٍ ، إلا أنه قد يتفاعل -أحياناً- عاملان وراثيان ، أو أكثر ؛ لإعطاء صفة العقم ، ويرمز إلى عامل العقم الذكرى بالرمز ms (وهما الحرفان الأولان لكلمتى male sterility) ، ويكون التركيب الوراثى ms ms عقيماً ، بينما يكون التركيبان الآخران (Ms Ms ، و Ms ms) ذوى خُصوبة .

يمكن نقل صفة العقم الذكرى الوراثى بسهولة إلى أى صنف ، أو سلالة ، يراد

استعمالها كأم في الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعي (يراجع الفصل الثاني عشر للتفاصيل الخاصة بهذه الطريقة) . وتستعمل السلالة التي يُراد نقل صفة العقم الذكرى إليها كأب ؛ لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى ، ثم يُلقح الجيل الأول - ذاتيًا - لعزل النباتات الأصيلة في صفة العقم ، وهذه تُلقح -بدورها رجعيًا- مرة أخرى بالصنف المراد نقل صفة العقم الذكرى إليه . وباستمرار التلقيحات الرجعية المتبوعة بالتلقيح الذاتي .. نحصل بعد ٦-٨ تلقيحات رجعية على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية في جميع الصفات ، فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

وتتم المحافظة على السلالات العقيمة الذكر باتباع إحدى الطرق التالية :

١- بالتلقيح الذاتي اليدوى للحالات التي تنتج فيها الأزهار حبوب لقاح خصبة ، ولكن متوكها تكون غير قادرة على التفتح . وتتطلب هذه الطريقة جهداً خاصاً من المربي ؛ لإدامة السلالات العقيمة الذكر .

٢- بالاستفادة من ظاهرة الخصوبة الجزئية ، التي تظهر على النباتات العقيمة الذكر تحت ظروف معينة بإكثارها في هذه الظروف ، بينما يمكن استعمالها في إنتاج الهجن في الظروف التي يكون فيها العقم تامًا . ومن أمثلة ذلك .. حالة عقم ذكرى ظهرت في القطن ، كانت فيها النباتات المتنحية الأصيلة خصبة جزئيًا ، تحت ظروف البيوت المحمية (الصوبات) بينما كانت عقيما تماماً تحت ظروف الحقل ، وظهرت حالة عقم أخرى في الجزر ، كانت فيها النباتات خصبة - جزئيًا - في ولاية وسكنس ، بينما كانت عقيمة تماما في ولاية كاليفورنيا (Duvick ١٩٦٦) .

٣- بتلقيح السلالة العقيمة الذكر الأصيلة (ms ms) بسلالة أخرى ذات أصول وراثية مماثلة isogenic line ، تكون خصبة الذكر وخليطة (Ms ms) ، ويؤدى التلقيح بينهما إلى إنتاج نسل يتوفر فيه التركيبان الوراثيان ms ms ، و Ms ms لنفس السلالة ، بنسبة ١:١ ، ويمكن بتلقيحهما - معًا - الاستمرار في المحافظة على السلالة العقيمة الذكر، كلما تطلب الأمر إكثارها .

هذا .. ويؤدى استعمال السلالات العقيمة الذكر وراثيا -كأم في التهجينات- إلى إنتاج هجن تكون خليطة (Ms ms) وخصبة . وتقل الاستفادة من هذه الظاهرة في إنتاج الهجن التجارية من المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ نظراً للحاجة إلى وسيلة صناعية لنقل حبوب اللقح

من السلالة المستعملة كأب إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم ، ولكنها - أى الظاهرة - تفيد - على الأقل - فى تجنب الحاجة إلى إجراء عملية خصى أزهار سلالات الأمهات . كما اقترح استعمال العقم الذكرى ؛ كوسيلة لتسهيل عملية الانتخاب المتكرر فى هذه الفئة من النباتات .

العقم الذكرى السيتوبلازمى

يحدث العقم الذكرى السيتوبلازمى Cytoplasmic Male Sterility عندما يوجد فى السيتوبلازم عامل خاص بالعقم ، يرمز له بالرمز S (من العقم Sterility) ؛ بينما يوجد العامل F (من الخصوبة Fertility) فى سيتوبلازم النباتات غير العقيمة .

ويمكن نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى - بسهولة - إلى أى صنف أو سلالة يراد استعمالها كأم فى الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى . وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفة العقم الذكرى إليها كأب لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى السيتوبلازمى . وتكون نباتات الجيل الأول الناتجة عقيمة الذكر ، لأن السيتوبلازم ينتقل إليها من الأم العقيمة الذكر ، المحتوية على عامل العقم الذكرى . وتلقح نباتات الجيل الأول - رجعياً - بالسلالة المراد نقل صفة العقم الذكرى إليها ؛ وباستمرار هذه العملية .. نحصل (بعد ٦-٨ تلقيحات رجعية) على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

وتتم المحافظة على السلالات الحاملة لعامل العقم الذكرى السيتوبلازمى بسهولة وإكثارها ؛ وذلك بتلقيحها بسلالة أخرى من نفس الصنف isogenic line تكون خصبة الذكر . وتكون النباتات الناتجة من هذا التلقيح عقيمة الذكر ؛ لأنها تتلقى السيتوبلازم من الأم العقيمة ، كما تكون مماثلة للسلالة التى يراد إكثارها ؛ إذ لايحدث بها أى تغير فى التركيب الوراثى لتشابه أبوى التلقيح وراثياً . وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح .

ويؤدى استعمال السلالات العقيمة سيتوبلازمياً كأم فى التهجينات إلى إنتاج هجن تكون عقيمة الذكر ؛ لذا .. فإن استعمال هذا النوع من العقم الذكرى لايصلح للمحاصيل التى تؤكل ثمارها أو بذورها (لأن نباتات الجيل الأول الهجين تكون عقيمة ، ولاتنتج

محصولاً من الثمار) ، ولكنه يناسب كلاً من نباتات الزينة والمحاصيل الإقتصادية ، التى تزرع من أجل أجزائها الخضرية ؛ كالبصل والبنجر . وتعد حالة العقم – فى نباتات الجيل الأول الهجين – أمراً مرغوباً فيه فى نباتات الزهور ، حيث تحتفظ الأزهار العقيمة بنضارتها لفترة أطول من الأزهار الخصبة ، التى تذبل – سريعاً – بعد التلقيح والإخصاب .

وكما سبق بيانه بالنسبة لحالة العقم الذكرى الوراثى .. فإن صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى تقل الاستفادة بها فى إنتاج الهجن التجارية من المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ كالفلفل ، والطماطم ؛ نظراً للحاجة إلى وسيلة صناعية لنقل حبوب اللقاح من السلالة المستعملة كأب إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم .

العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى

يتشابه العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى Genetic-Cytoplasmic Male Sterility مع العقم الذكرى السيتوبلازمى فى كونه يرجع إلى وجود عامل خاص بالعقم فى السيتوبلازم ، يرمز إليه بالرمز S ، وعامل الخصوبة F فى سيتوبلازم النباتات غير العقيمة ؛ ولكنهما يختلفان فى وجود عامل وراثى آخر سائد فى النواة فى حالة العقم الذكرى –السيتوبلازمى . ويطلق على هذا العامل اسم «جين الإرجاع Restorer Gene» لأن وجوده يؤدى إلى إرجاع النباتات التى تحمل عامل العقم S فى سيتوبلازم خلاياها إلى حالة الخصوبة . ولايكون هذا الجين مؤثراً عند وجوده فى الحالة المتنحية الأصيلة ، وعليه .. فإن التراكيب الوراثية الممكنة فى حالة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى تكون كما يلى :

السيتوبلازم	النواه	حالة النبات
S	RR	خصب
S	Rr	خصب
S	rr	عقيم
F	RR	خصب
F	Rr	خصب
F	rr	خصب

أى إنه لايوجد سوى تركيب وراثى واحد عقيم ، هو Srr .

تورث صفة العقم الذكرى الوراثى -السيتوبلازمى كأية صفة مندلية بسيطة ، مع ملاحظة أن السيتوبلازم يورث عن طريق الأم ؛ وعليه .. فإن نسل التلقيحات المختلفة يكون كما يلى :

التلقيح	الأم (عقيمة الذكر)	الأب (خصب الذكر)	النسل: التركيب الوراثى	النسل: الشكل الظاهرى
١-	Srr	Frr	Srr	عقيم
٢-	Srr	Srr	Srr	عقيم
٢-	Srr	FRR	SRr	خصب
٤-	Srr	SRr	Srr 1 : SRr 1	١ خصب : ١ عقيم
٥-	Srr	FRr	Srr 1 : SRr 1	١ خصب : ١ عقيم

ويمكن نقل صفة العقم الذكرى الوراثى -السيتوبلازمى بسهولة إلى أى صنف أو سلالة يراد استعمالها كأم فى الهجن ؛ وذلك باتباع طريقة التهجين الرجعى - كما سبق بيانه - بالنسبة لنقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى . وتستعمل السلالة التى يراد نقل صفة العقم الذكرى إليها (التى يكون تركيبها الوراثى Frr) كأب لتلقيح السلالة الحاملة لصفة العقم الذكرى (التى يكون تركيبها الوراثى Srr) . وتكون نباتات الجيل الأول عقيمة الذكر؛ لأن السيتوبلازم ينتقل إليها من الأم العقيمة الذكر . وتلقح نباتات الجيل الأول - رجعياً - بالسلالة المراد نقل صفة العقم الذكرى إليها ؛ وباستمرار ذلك .. نحصل بعد ٦-٨ تلقيحات رجعية على سلالة جديدة ، تتشابه مع السلالة الأصلية فى جميع الصفات ، فيما عدا احتوائها على صفة العقم الذكرى .

ويمكن إكثار السلالات الحاملة لصفة العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى (Srr) ، والمحافظة عليها ؛ وذلك بتلقيحها بسلالة أخرى من نفس الصنف isiogenic line تكون خصبة الذكر ، وذات تركيب وراثى Frr . وتكون النباتات الناتجة من هذا التلقيح عقيمة الذكر ؛ لأنها تتلقى السيتوبلازم من الأم العقيمة ، كما تكون مماثلة للسلالة التى يراد إكثارها ، إذا لم يحدث بها أى تغير فى التركيب الوراثى ؛ لتشابه أبوى التلقيح وراثياً . وتستمر المحافظة على السلالة بتكرار نفس التلقيح . ولحسن الحظ .. فإن التركيب الوراثى

Frr شائع الوجود ؛ فهو قد وجد – مثلا– فى جميع الأصناف التجارية من البصل تقريباً .

كان أول تطبيق لاستعمال العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن فى محصول البصل بواسطة Jones & Davis فى عام ١٩٤٤ . ويلزم لإنتاج البذرة الهجين أن تكون السلالة المستعملة كأم ذات تركيب وراثى Srr ، أما ، سلالة الأب .. فيمكن أن تكون ذات تركيب وراثى FRR ، أو FRr ، أو Frr ، أو SRR ، أو SRr ، وجميعها تراكيب وراثية خصبة . ويتوقف التركيب المناسب على كون الهجين المنتج يزرع لأجل ثماره وبذوره ، أم لأجل أجزائه الخضرية .

الجينات المُعلّمة

الجينات المُعلّمة Marker genes هى جينات تتحكم فى صفات بسيطة فى وراثتها ، ويمكن تمييزها بسهولة ، ويفضل إمكان التعرف عليها فى طور البادرة ، ويستفاد منها فى أحد الأمرين التاليين ، وكلاهما يتعلق بظاهرة العقم الذكرى فى إنتاج الهجن :

١– إذا كان الجين المُعلم شديد الارتباط بالجين الخاص بالعقم الذكرى ، أو إذا كان جين العقم الذكرى ذاته ذا تأثير واضح فى صفة أخرى يمكن تمييزها بسهولة (أى حينما يمكن اعتبار جين العقم الذكرى جيناً معلماً –أيضاً – ذا تأثير متعدد Pleotropic gene) .. فإنه يمكن تمييز النباتات العقيمة الذكر بسهولة عن النباتات الخصبة الذكر ، ويمكن – بالتالى – إزالة النباتات الخصبة الذكر من خطوط الأمهات عند إنتاج الهجن ؛ فعلى سبيل المثال .. يوجد فى البطيخ جين مُتنحٍ ، يجعل النبات عقيماً ، وذا أوراق ملساء ، كما يوجد فى الخس ثلاثة جينات متنحية (ms_1 ، ms_2 ، و ms_3) ، يؤدى وجودها – مجتمعة بحالة أصيلة – إلى جعل النبات عقيم الذكر ، وذا أوراق ضيقة ، قمتها حادة ، ويمكن تمييزها . وفى كلتا الحالتين السابقتين .. تكون النباتات الخصبة الذكر ذات أوراق طبيعية، بحيث يمكن تمييزها بسهولة ، وإزالتها من خطوط الأمهات .

٢– إذا تحكم الجين المعلم فى صفة بسيطة ، وكان يوجد بحالة متنحية أصيلة فى سلالات الأمهات العقيمة الذكر ، وبحالة سائدة أصيلة فى سلالات الآباء الخصبة الذكر .. فإن الهجن الناتجة تكون حاملة للجين السائد (المُعلم) بحالة خليطة ؛ وبذا .. يمكن تمييز الهجن عن النباتات التى تنتج من التلقيح الذاتى لسلالات الأمهات .

العقم الذكرى المُحدَث صناعيًا

وُجِدَ أن بعض المركبات الكيميائية تحدث عقما ذكريًا فى النباتات التى تعامل بها ، وقد أطلِقَ عليها اسم «مبيدات الجاميطات gametocides » . ويذكر Craig (١٩٦٨) أن استعمال مبيدات الجاميطات لقتل حبوب اللقاح قد يكون مرغوباً فى بعض الحالات ، إلا أن المتوفر منها حاليًا لايمكن الاعتماد عليه . ومن أمثلة ذلك إحداث العقم الذكرى فى القمح ؛ برش النباتات بالإيثيفون Ethephon بتركيز ١٠٠٠-٢٠٠٠ جزء فى المليون ، وفى البصل .. بالرش مرتين بمحلول الجبريللين بتركيز ٢٪ فى بداية مرحلة نمو الشماريخ الزهرية . وقد كان التأثير فى الحالة الأخيرة مؤقتا ، وظهر فى بداية مرحلة الإزهار فقط (Van der Meer & Van der Bennekom ١٩٧٣) .

ولمركب المندوكس Mendox (أو FW450) القدرة على منع أزهار القرعيات من التفتح برغم اكتمال تكوينها . وهو لا يعد من مبيدات الجاميطات ؛ لأن حبوب اللقاح والبويضات تتكون بصورة طبيعية . وقد اقترحت المعاملة به كبديل لعملية غلق الأزهار أو تكييسها قبل إجراء التلقيحات ، وهى العملية الضرورية لمنع وصول حبوب اللقاح غير المرغوبة إليها عن طريق الحشرات .

وتتميز مبيدات الجاميطات - التى تُحدِثْ عقماً ذكريًا - بإمكان استخدامها فى إحداث العقم الذكرى فى سلالة يرغب فى استخدامها كأم فى الهجن ، وتفيد فى تجنب ضرورة الاعتماد على تركيب وراثى معين ؛ كمصدر للعقم الذكرى السيتوبلازمى ، ومايصاحب ذلك من أخطار الاعتماد على مصدر واحد للسيتوبلازم ، وهو الذى أدى فى محصول مثل الذرة إلى سرعة انتشار مرض لفحة الأوراق بحالة وبائية فى الولايات المتحدة الأمريكية .

وتنبغى أن تتوفر فى مبيدات الجاميطات المثالية الشروط التالية :

١- أن تحدث عقماً ذكريًا ، ولاتحدث عقماً أنثويًا .
٢- أن تثبط تكوين حبوب اللقاح بصورة تامة .
٣- ألا يتأثر فعلها بالعوامل البيئية .
٤- ألا يتأثر فعلها باختلاف التركيب الوراثى للنبات .
٥- أن تكون فعالة فى المراحل المختلفة للنمو النباتى .

٦- ألا يكون لها تأثيرات ضارة فى النبات ، أو البيئة .
٧- أن يكون استعمالها اقتصاديًا .

هذا .. ولايتوفر - إلى الآن - مبيد جاميطات واحد ، تتوفر فيه كل الشروط السابقة ، أو معظمها . ويعتبر المالِك هيدرازيد ، وحامض الجبرلليك ، والإيثيفون ، والمندوكس أكثرها استعمالاً فى الوقت الحاضر . ولمزيد من التفاصيل عن مبيدات الجاميطات .. يراجع Duvick (١٩٦٦) ، و Pearson (١٩٨١) ، و Nickell (١٩٨٢) .

عدم التوافق

تنتشر ظاهرة عدم التوافق Incompatibility فى المملكة النباتية ؛ حيث إنها وجدت فى أكثر من ٣٠٠٠ نوع نباتى ، تمثل عدداً كبيراً من العائلات النباتية . وينتج النبات عديم التوافق حبوب لقاح خصبة وطبيعية إلا أنه لايمكن تلقيحه ذاتيا ، كما لايمكن تلقيحه مع أى نبات آخر ، يحمل نفس عوامل عدم التوافق . ويطلق على الظاهرة - فى الحالة الأولى- اسم عدم التوافق الذاتى Self Incompatibility بينما تعرف فى الحالة الثانية باسم Cross Incompatibility .

يستفاد من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن التجارية ؛ حيث تنقل للسلالات المستخدمة فى إنتاج الهجن آليات مختلفة لعدم التوافق ؛ وبذا .. تُصبح كل سلالة غير متوافقة ذاتيًا ، ولكنها متوافقة - خلطيًا - مع السلالة الأخرى . وتؤدى زراعتهما فى خطوط متبادلة إلى أن يُلقح كل منهما الآخر ؛ لاستحالة حدوث التلقيح الذاتى فى أى منهما . وتكون البذور التى تنتجها كلتا السلالتين - فى هذه الحالة - بذور هجين .

وعلى خلاف ظاهرة العقم الذكرى .. فإن ظاهرة عدم التوافق يمكن الاستفادة منها فى إنتاج هجن النباتات الذاتية التلقيح ، التى قد تزورها الحشرات لجمع حبوب اللقاح ؛ ذلك لأن النباتات غير المتوافقة - ذاتيًا - تنتج حبوب اللقاح بصورة طبيعية . ويحدث ذلك فى الطماطم التى قد تزورها الحشرات -أحياناً- لجمع حبوب اللقاح -وليس الرحيق- لذا .. لاتفيد معها ظاهرة العقم الذكرى ، بينما قد تفيد ظاهرة عدم التوافق (Sneep & Hendriksen ١٩٧٩) .

تأثير حالة عدم التوافق على إنبات حبوب اللقاح

يختلف تأثير حالة عدم التوافق على إنبات حبوب اللقاح باختلاف الأنواع النباتية كما يلى :

١- يقل إنبات حبوب اللقاح - كثيراً - فى بعض الأنواع - كما فى البروكولى - حيث يحدث التفاعل بين حبوب اللقاح وأنسجة الميسم . ويؤدى - أحياناً - قطع الميسم أو هرسه إلى التخلص من حالة عدم التوافق .

٢- تنبت حبوب اللقاح بصورة طبيعية ، ثم يتوقف نمو أنابيب اللقاح فى الميسم فى نباتات أخرى كما فى الجنس *Nicotiana* . وتختلف المسافة التى تقطعها الأنابيب اللقاحية فى الميسم باختلاف الأنواع النباتية .

٣- قد تنبت حبوب اللقاح بشكل طبيعى ، وتصل إلى البويضة وتخصبها ، ولكن البذور لاتتكون لحدوث تدهور للبويضة المخصبة . وتلك حالة نادرة ، وتوجد فى الكاكاو ، وجنس *Gasteria* (Elliott ١٩٥٨ ، و Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

أنواع عدم التوافق

جرى العرف على تقسيم حالات عدم التوافق على النحو التالى :

١- حالات يختلف فيها الوضع النسبى لكل من ميسم الزهرة ومتوكها ؛ بسبب اختلاف طول كل من القلم وخيوط الأسدية ، وتعرف باسم Heteromorphic Incompatibility .

٢- حالات يكون فيها ميسم الزهرة ومتوكها فى مستوى واحد تقريباً ، وتعرف باسم Homomorphic Incompatibility ، وهى تقسم بدورها إلى طرازين ، هما :

(أ) عدم التوافق الجاميطى Gametophytic Incompatibility .

(ب) عدم التوافق الاسبوروفيتى Sporophytic Incompatibility .

وجدير بالذكر .. أن جميع حالات عدم التوافق لاتعتمد على الوضع النسبى لكل من ميسم الزهرة ومتوكها ؛ بل إن عدم التوافق الـ heteromorphic (الذى يختلف فيه الوضع النسبى لكل من الميسم والمتوك) هو - فى حد ذاته - نوع من عدم التوافق الاسبوروفيتى ، كما سيأتى بيانه .

حالات اختلاف الوضع النسبى لميسم الزهرة ومتوكها

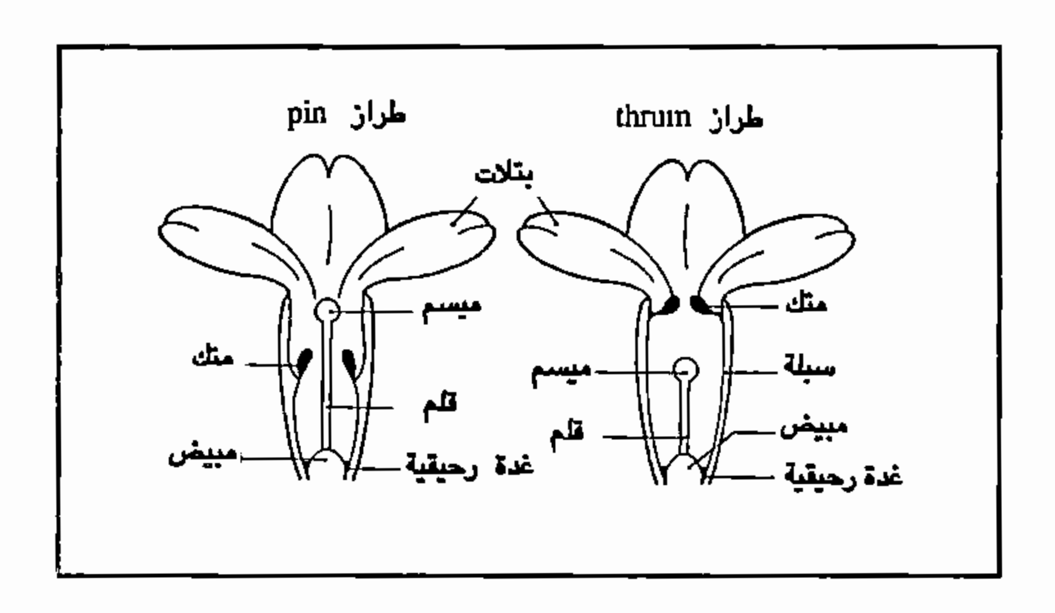
كان دارون Darwin أول من اكتشف هذه الظاهرة ، وذكر وجودها فى ٣٨ جنساً نباتيًا ، وشرحها بالتفصيل فى نبات *Primula sinensis* . ويوجد فى هذا النبات طرزان من الأزهار ، هما :

١- طراز الدبوس Pin Type :

يتميز هذا الطراز ، بطول قلم الزهرة ، وقصر الأسدية ؛ وبذا .. يكون الميسم فى مستوى أعلى من مستوى المتوك .

٢- طراز «ثرم» Thrum Type :

يتميز هذا الطراز بقصر قلم الزهرة وطول الأسدية ؛ وبذا .. يكون الميسم فى مستوى أدنى من مستوى المتوك (شكل ٨-١) .



شكل (٨ - ١) : طرازا الأزهار pin ، و thrum فى نبات *Primula sinensis* (عن Birkett ١٩٧٩) .

يتحكم فى الشكل المظهرى لهذين الطرازين سلسلة من الجينات الشديدة الارتباط ، ونادرا ما يحدث بينها عبور ، وتعامل كجين واحد يطلق عليه اسم الجين الفائق super gene ، ويرمز له بالرمز S . ويتحكم الاليل السائد S فى طراز الثرم thrum ، بينما يتحكم الآليل المتنحى s فى طراز الدبوس pin . ولاترجع حالة عدم التوافق – فى هذه النباتات – إلى اختلاف الوضع النسبى للميسم والمتوك ، وإنما ترجع إلى حالة من عدم التوافق الاسبوروفيتى ؛ إذ إن النبات المنتج لحبوب اللقاح هو الذى يحدد إن كانت حبوب اللقاح قادرة على الإنبات على ميسم معين ، أم غير قادرة .

وفى الأنواع التى يوجد فيها الطرازان السابقان للأزهار (pin ، و thrum) – التى تعرف باسم ذى القلمين distyly (نسبة إلى وجود طولين مختلفين لقلم المتاع) – يكون التلقيح pin x pin (ss x ss) غير متوافق ، ولايوجد تركيب وراثى أصيل سائد SS ؛ لأن التلقيح thrum x thrum غير متوافق أيضاً . وتكون جميع الأفراد الـ thrum ذات تركيب وراثى Ss ؛ لأنها تنتج من التلقيح الوحيد المتوافق ، وهو : pin (ss) x thrum (Ss)، الذى يكون النسل فيه من طرازى pin (ss) ، و thrum (Ss) بنسبة ١:١ سواء أكان التلقيح فى الاتجاه المبين ، أم فى الاتجاه العكسى (أى سواء أكان طراز pin – مثلا – مستعملاً كأم ، أم كأب فى التلقيح) .

وتوجد أنواع يوجد بها ثلاثة أطوال لقلم الزهرة (tristyly) ، هى : الطويل ، والمتوسط ، والقصير ، وتكون التلقيحات غير المتوافقة فيها هى : طويل × طويل ، ومتوسط × متوسط ، وقصير × قصير . ويتحكم فى هذا النوع من عدم التوافق عاملان وراثيان ، هما : S ، و M ، لكل منهما آليلان ، أحدهما سائد ، والآخر متنحٍ . وتكون النباتات ذات الأقلام الطويلة متنحية أصيلة فى العاملين الوراثيين ؛ أى ss mm ، وتكون النباتات ذات الأقلام المتوسطة الطول إما ss Mm وإما ss MM . ويؤدى وجود الآليل السائد S إلى جعل قلم الزهرة قصيراً ، أيًا كان التركيب الوراثى فى الموقع M ؛ وعليه .. فإن النباتات ذات الأقلام القصيرة .. يكون تركيبها الوراثى إما -S-M ، وإما S-mm .

ورغم أن حالة عدم التوافق وحالة الوضع النسبى لميسم الزهرة ومتوكها يتلازمان -- بشدة – فى الطبيعة إلا أنه توجد أدلة على أن الصفتين محكومتان بجينات مختلفة . وقد اقْتُرِحَ أن حالة الـ tristyly الأخيرة يتحكم فيها جين مركب ؛ يتكون من خمس وحدات

شديدة الارتباط ، تختص اثنتان منها بحالة عدم التوافق الاسبوروفيتى ، والثالثة بطول القلم ، والرابعة بارتفاع المتوك ، والخامسة بحجم حبوب اللقاح .

عدم التوافق الجاميطى

اكتشف East & Mangelsdorf ظاهرة عدم التوافق الجاميطى Gametophytic Incompatibility فى نبات *Nicotiana sanderae* فى عام ١٩٢٥ . تنتشر الظاهرة – خاصة – فى العائلات الباذنجانية ، والوردية ، والعليقية . وتبعا لهذه الظاهرة .. فإن عاملا وراثيًا واحداً يرمز إليه بالرمز S (نسبة إلى حالة العقم sterility التى يحدثها) هو الذى يتحكم فى إنبات حبوب اللقاح على مياسم أزهار معينة دون غيرها . وتوجد سلسلة طويلة من أليلات هذا الجين تأخذ الرموز S_1 ، و S_2 ، و S_3 ... إلخ ، ولكن النبات الثنائى العادى لايحتوى إلا على أليل واحد إن كان أصيلا ، أو على أليلين إن كان خليطاً . وبينما لايمكن أن يحدث التلقيح الذاتى لهذه النباتات – سواء أكانت أصيلة ، أم خليطة – فإن حبة اللقاح يمكنها النمو على أى ميسم ، لايوجد به أليل عدم التوافق ، الذى يوجد بحبة اللقاح ؛ لذا .. يعرف هذا النوع من عدم التوافق بعدم التوافق الجاميطى . ويعرف أليل آخر من هذه السلسلة لأليلات عدم التوافق – يرمز إليه بالرمز S_f – ويؤدى وجوده فى النبات بحالة أصيلة أو خليطة .. إلى جعله متوافقاً ذاتيًا ، ومتوافقاً مع أى تركيب وراثى آخر . وقد أمكن الحصول عليه بسهولة –كطفرة– فى الجنس *Prunus* بمعاملة حبوب اللقاح بأشعة X ، وأمكن التعرف على الطفرة – بسهولة – بنجاح التلقيح الذاتى .

وفيما يلى .. أمثلة لبعض حالات التلقيحات المتوافقة ، وغير المتوافقة فى النظام الجاميطى :

الأب		الأم	حبوب اللقاح القادرة على الإنبات	النسل
S_1S_1	x	S_1S_1	لاتوجد	–
S_1S_2	x	S_1S_1	S_2	S_1S_2
S_1S_2	x	S_2S_3	S_1	S_1S_3 و S_1S_2
S_1S_2	x	S_3S_4	S_2 و S_1	S_2S_4 و S_2S_3 و S_1S_4 و S_1S_3
S_1S_f	x	S_1S_2	S_f	S_2S_f و S_1S_f
S_1S_2	x	S_1S_f	S_2 و S_1	S_2S_f و S_1S_2 و S_1S_f و S_1S_1

عدم التوافق الاسبوروفيتى

اكتشفت ظاهرة عدم التوافق الاسبوروفيتى Sporophytic Incompatibility عام ١٩٥٠ ؛ بواسطة Hughes & Babcock فى نبات *Crepis foetida* ، وبواسطة Gerstol فى نبات الجوايال guayule (*Parthenium argentatum*) . توجـد هذه الظاهرة فى بعض العائلات ؛ مثل الصليبية ، والمركبة ، ولكنها أقل انتشاراً من ظاهرة عدم التوافق الجاميطى . وتبعاً لهذه الظاهرة .. فإن التركيب الوراثى للنبات الذى ينتج حبة اللقاح هو الذى يحدد إن كانت حبة اللقاح يمكنها الإنبات على ميسم معين ، أم لايمكنها ؛ ذلك لأن الجدار الخارجى لحبة اللقاح exine – وهو أمّى المنشأ– هو الذى يتفاعل مع مياسم الأزهار ؛ أى إن التركيب الوراثى لحبة اللقاح ذاتها لايحدد سلوكها على مياسم الأزهار المختلفة ؛ لأن هذا السلوك قد تحدد – سلفاً– بالنبات الذى أنتجها . كما أن جميع حبوب اللقاح التى ينتجها النبات الواحد تسلك مسلكاً واحداً ، حتى لو كانت مختلفة وراثيًا عن بعضها البعض .

ويتضح من ذلك .. أن الطور الاسبوروفيتى هو الذى يتحكم فى هذا النظام لعدم التوافق ؛ ونظرًا لأن المواد المسئولة عن سلوك حبة اللقاح تنتج قبل الانقسام الاختزالى للخلايا الوالدة للجراثيم الصغيرة microspore mother cells .. فإن معاملة المتوك بالعوامل المطفرة لايؤثر على سلوك حبوب اللقاح المنتجة ، حتى لو حدثت بها طفرات . وكما فى عدم التوافق الجاميطى .. فإن سلسلة طويلة من أليلات العامل S تتحكم كذلك فى نظام عدم التوافق الإسبوروفيتى . وتأخذ الأليلات الرموز S_1 ، و S_2 ، و S_3 ... إلخ ، ويصل العدد فى بعض الأنواع إلى خمسين أليلاً .

وتوجد – فى هذا النظام لعدم التوافق– ثلاثة أنواع من التفاعلات الأليلية ، هى التى تتحكم فى سلوك حبوب اللقاح ، وقدرتها على الإنبات على مياسم الأزهار (عن Wallace & Nasrallah ١٩٦٨ و Dickson & Wallace ١٩٨٦) ، وهى كما يلى :

١– تفاعل السيادة Dominance :

يسود أحد الأليلين – فى النبات الثنائى– على الآخر ، وتسلك جميع حبوب اللقاح التى ينتجها النبات مسلك الأليل السائد ، أيًا كان الأليل الذى يوجد بها . كما يتحدد الشكل

الظاهرى للميسم بالآليل السائد أيضاً . ويرمز إلى حالة السيادة بين آليلين بالعلامة (>): فلوكان التركيب الوراثى للنبات هو S_1S_2 وكان الآليل S_1 سائداً على S_2 .. يكتب التركيب الوراثى هكذا : $S_1 > S_2$.

٢- تفاعل السيادة المشتركة Co-dominance :

يظهر تأثير الآليلين -معًا- في الفرد ؛ فتسلك جميع حبوب اللقاح التى ينتجها النبات (الثنائى) ، كما لو كانت تحمل الآليلين الموجودين فى النبات (الطور الاسبوروفيتى) ، برغم أنها - أى حبوب اللقاح - تكون أحادية ، ولاتحمل سوى آليل واحد منهما . كما يتحدد الشكل المظهرى للميسم بالآليلين معًا أيضًا . ويرمز لحالة السيادة المشتركة بين آليلين بالعلامة (=) ؛ فلوكان التركيب الوراثى للنبات هو S_2S_3 ، وكانت بينهما سيادة مشتركة .. فإن التركيب الوراثى يكتب هكذا : $S_2 = S_3$.

٣- تفاعل الإضعاف المتبادل Mutual Weekening :

يُضعف كل آليل تأثير الآليل الآخر فى النبات (الثنائى) ؛ وتكون نتيجة ذلك أن يصبح النبات متوافقا ذاتيًا ، ومتوافقًا - كذلك - مع أى نبات آخر ؛ ذلك لأن جميع حبوب اللقاح التى ينتجها نبات كهذا تبدو فى سلوكها ، كما لوكانت خالية من عوامل عدم التوافق ، رغم أنها تحمل أحد الآليلين فى تركيبها الوراثى ، كما يسمح ميسم النبات بإنبات حبوب اللقاح التى تصل إليه ، أيًا كان تركيبها الوراثى . ويرمز إلى حالة الإضعاف المتبادل بالعلامة (x) ؛ فلو كان التركيب الوراثى للنبات هو S_3S_4 ، وكان بين الآليلين إضعاف متبادل فإن التركيب الوراثى يكتب هكذا : $S_3 \times S_4$.

ومن خصائص التفاعلات الآليلية التى سبق بيانها .. مايلى :

١- قد يختلف نوع التفاعل فى متوك الزهرة عنه فى مياسم النبات نفسه ؛ فمثلا .. قد يكون النبات ذا تركيب وراثى S_4S_5 ، وفيه S_4 سائد على S_5 فى الميسم $S_4 > S_5$ ، بينما قد توجد بين الآليلين سيادة مشتركة ($S_4 = S_5$) ، أو إضعاف متبادل ($S_4 \times S_5$) فى حبوب اللقاح . وعندما يكون أحد الآليلين سائداً على الآليل الآخر فى الميسم ، بينما تكون السيادة عكسية فى حبوب اللقاح .. فإن النبات يصبح متوافقاً ذاتياً ، ويطلق على هذه الحالة اسم السيادة العكسية Reciprocal Dominace .

٢- لكل آليلين تفاعل خاص بهما ؛ فبينما قد يكون الآليل S_1 سائداً على S_2 $(S_1 > S_2)$ .. فإنه قد يكون ذا سيادة مشتركة مع S_6 $(S_1 = S_6)$ ، وقد يكون ذا إضعاف متبادل مع S_7 $(S_1 \times S_7)$ ؛ فمثلا .. نجد فى الكيل أنه توجد سيادة مشتركة بين الآليلين S_1 ، و S_6 $(S_1 = S_6)$ وبين الآليلين S_6 ،و S_{24} $(S_6 = S_{24})$ ، بينما يسود الآليل على S_{24} على الآليل S_1 $(S_1 < S_{24})$.

٣- تختلف درجة السيادة بين الآليلات المختلفة ؛ فلو كانت درجة السيادة تتناقص - تدريجيا - فى الآليلات الخمسة : S_7 ، و S_{35} ، و S_1 ، و S_{20} ، و S_4 .. فإن علاقة السيادة بينها تكتب هكذا : $S_7 > S_{35} > S_1 > S_{20} > S_4$ حيث يكون S_7 - فى هذه السلسلة - أشدها سيادة ، بينما يكون S_4 أضعفها .

وفى محاولة لتعليل هذه التفاعلات الآليلية .. نفترض وجود ثلاثة آليلات هى S_1 ، وS_2 ، وS_3 ، وأن كلا منها يعد مسئولا عن إنتاج أحد المركبات التى تحدث حالة عدم التوافق بسرعة ، وبكمية معينة . ونفترض - كذلك - أن إنتاج S_1 للمادة المسئولة عن عدم التوافق يكون أسرع قليلاً من S_2 ، وأن إنتاج S_2 أسرع قليلا من S_3 ؛ وعليه تظهر سيادة مشتركة بين الآليلين S_1 ، و S_2 ، وبين S_2 ، و S_3 ؛ لأن كل آليل فى الفرد الخليط قد ينتج كمية من المركب المسئول عن عدم التوافق ، تكفى لإظهار تأثيره . ولكن قد يظهر S1 سائداً على S_3 فى الفرد الخليط ؛ لأن S1 ربما يكون قادراً على إنتاج المركب المسئول عن عدم التوافق بسرعة ، تصل - بتركيزه - إلى الحد الحرج ، قبل أن ينتج الآليل المتنحى S_3 المركب الخاص به (عن Ryder ١٩٧٩) .

ومما يزيد من تعقيد حالة عدم التوافق الاسبوروفيتى تأثرها بالجينات المحورة ، التى يصعب فصل تأثيرها عن آليلات العامل S ، والتى يعتقد أنها ذات تأثير كمى . كما اكتشف عامل آخر غير العامل S ، يؤثر على الأخير ، ويوقف نشاط بعض آليلاته . وربما يفسر ذلك التدرجات الملحوظة لتأثير آليلات عدم التوافق ، التى تتراوح من صفر - ١٠٠٪ (Dickson & Wallace ١٩٨٦) . كما تختلف شدة حالة عدم التوافق من محصول إلى آخر ؛ فنجد فى الصليبيات - مثلاً - أن عدم التوافق يكون ضعيفاً فى القنبيط ، وقوياً فى الكيل (عن Riggs ١٩٨٨) .

وفيما يلى .. أمثلة لبعض حالات التلقيحات المتوافقة وغير المتوافقة فى النظام الإسبوروفيتى :

الأب		الأم		
التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى	النسل
$S_1 > S_2$	S_1	$S_1 > S_2$	S_1	غير متوافق
$S_1 > S_2$	S_1	$S_1 = S_2$	S_1 و S_2	غير متوافق
$S_1 > S_2$	S_1	$S_1 < S_2$	S_2	S_1S_1 و S_1S_2 و S_2S_2
$S_1 > S_2$	S_1	$S_2 > S_3$	S_2	S_1S_2 و S_1S_3 و S_2S_2 و S_2S_3
$S_1 > S_2$	S_1	$S_1 \times S_4$	—	S_1S_1 و S_1S_4 و S_1S_2 و S_2S_4
$S_1 = S_2$	S_1 و S_2	$S_1 > S_2$	S_1	غير متوافق
$S_2 = S_3$	S_2 و S_3	$S_3 < S_4$	S_4	S_2S_3 و S_2S_4 و S_3S_3 و S_3S_4

فسيولوجيا عدم التوافق

اقترح Ferrari & Wallace عام ١٩٧٧ نظرية لتفسير حالات عدم التوافق فى الصليبيات (عن Ryder ١٩٧٩) ، وبيان هذه النظرية كما يلى :

١- يتحكم أحد أليلات الجين S فى إنتاج مادة فى الميسم ، هى الجزئ المؤثر effector molecule .

٢- يتحكم نفس الآليل فى إنتاج مادة مقابلة فى حبوب اللقاح ، هى الجزئ المستقبل receptor molecule .

٣- توجد مجموعة متكاملة من الإنزيمات ، يتوقف عليها إنبات حبوب اللقاح ، خاصة فى المراحل الأولى من عملية الإنبات .

٤- توجد مادة تمنع إنبات حبوب اللقاح germination inhibitor .

٥- توجد مادة أخرى تنشط إنبات حبوب اللقاح germination activator .

وتبعًا لهذه النظرية .. فإنه إذا لامست حبة لقاح ميسماً ، وكان آليل الجين S المؤثر فى

كليهما (أى فى حبوب اللقاح والميسم) واحداً .. فإنه تحدث سلسلة من التفاعلات ، تؤدى إلى وقف إنبات حبة اللقاح؛ فيتفاعل الجزئ المستقبل الموجود فى حبة اللقاح مع الجزئ المؤثر الموجود فى الميسم ؛ ويؤدى ذلك إلى إنتاج المادة المانعة لإنبات حبوب اللقاح ، ووقف إنتاج المادة المنشطة للإنبات ، ثم تؤدى المادة المانعة للإنبات إلى وقف إنتاج الإنزيمات الضرورية لنمو الأنابيب اللقاحية واستطالتها .

وفى المقابل .. فإنه إذا لامست حبة لقاح ميسماً ، وكانا (أى حبة اللقاح والميسم) مختلفين فى آليل الجين المؤثر فى حالة عدم التوافق فيهما .. فإنه لايحدث تفاعل بين الجزئ المستقبل الموجود فى حبة اللقاح ، والجزئ المؤثر الموجود فى الميسم لعدم وجود علاقة بينهما ؛ مما يسمح بتكوين المادة المنشطة لإنبات حبوب اللقاح ، وهى التى تمنع بدورها تكوين المادة المثبطة للإنبات . ويسمح ذلك بتكوين الإنزيمات اللازمة لنمو الأنابيب اللقاحية واستطالتها . وتفترض هذه النظرية أن المادة المثبطة لإنبات حبوب اللقاح تتكون فى البداية ، إلا أن نمو الأنابيب اللقاحية يتوقف على تكون المادة المنشطة للإنبات من عدمه .

ويبدو أن عدم التوافق يتحدد بنوع من التفاعل بين أنتيجينات antigens ، توجد فى مياسم الأزهار ، وأجسام مضادة antibodies توجد فى حبوب اللقاح ؛ فقد وجدت ثلاثة أنتيجينات مختلفة فى مياسم ثلاثة تراكيب وراثية من الكرنب ، هى S_1S_1 ، وS_2S_2 ، وS_3S_3 ، كما وجدت الأنتيجينات الأبوية فى الهجن S_1S_2 ، و S_1S_3 ، و S_2S_3 ، وأمكن تقسيم نباتات الجيل الثانى إلى نباتات ، تحتوى على أنتيجين الأب فقط ، وأخرى تحتوى على أنتيجين الأم فقط ، وثالثة تحتوى على أنتيجينى الأب والأم معًا . هذا .. بينما لم يمكن تمييز هذه الأنتيجينات فى حبوب اللقاح ، أو فى الأنسجة الأخرى للنبات (عن Wallece & Nasrallah ١٩٦٨) . ومن المعروف أن الجليكوبروتينات glycoproteins تؤدى دوراً مهما فى نظام عدم التوافق الاسبوروفيتى ، وأن زيادة معدل تمثيل الجليكوبروتينات الخاصة بكل آليل S فى الميسم يتلازم مع حدوث تفاعل عدم التوافق (عن Riggs ١٩٨٨) .

طرق التعرف على عوامل عدم التوافق

توجد أربع طرق رئيسية للتعرف على عوامل عدم التوافق فى النباتات ، هى :

١- إجراء كل التلقيحات الممكنة بين مجموعة من السلالات التى يعرف التركيب الوراثى لبعضها ، ثم تحسب عدد البذور التى تنتج من كل تلقيح ؛ حيث تعطى التلقيحات المتوافقة عدداً كبيراً ، بينما تكون البذور قليلة جداً -أو معدومة- فى التلقيحات غير المتوافقة . ويستدل من ذلك .. على درجة القرابة الوراثية (من حيث أليلات S) بين السلالات المختلفة . كما يستدل من السلالات المعلومة التركيب الوراثى على التركيب الوراثى للسلالات المجهولة ، ويعاب على هذه الطريقة .. أنها تتطلب فترة زمنية طويلة لإجرائها .

٢- إجراء كل التلقيحات الممكنة - كما فى الطريقة السابقة - ، ثم عمل قطاعات فى أجزاء مختلفة من أقلام الأزهار الملقحة ، بعد يوم -أو يومين- من إجراء التلقيحات ؛ حيث تُرى أعداد كبيرة من الأنابيب اللقاحية فى أقلام أزهار التلقيحات المتوافقة ، بينما تكون الأنابيب اللقاحية قليلة جدا - أو معدومة - فى التلقيحات غير المتوافقة . ويستدل من ذلك على التركيب الوراثى للسلالات المجهولة التركيب ، كما فى الطريقة السابقة . وبرغم أن هذه الطريقة سريعة .. إلا أنها تتطلب جهداً كبيراً فى عمل القطاعات وفحصها (Frey ١٩٧٢) .

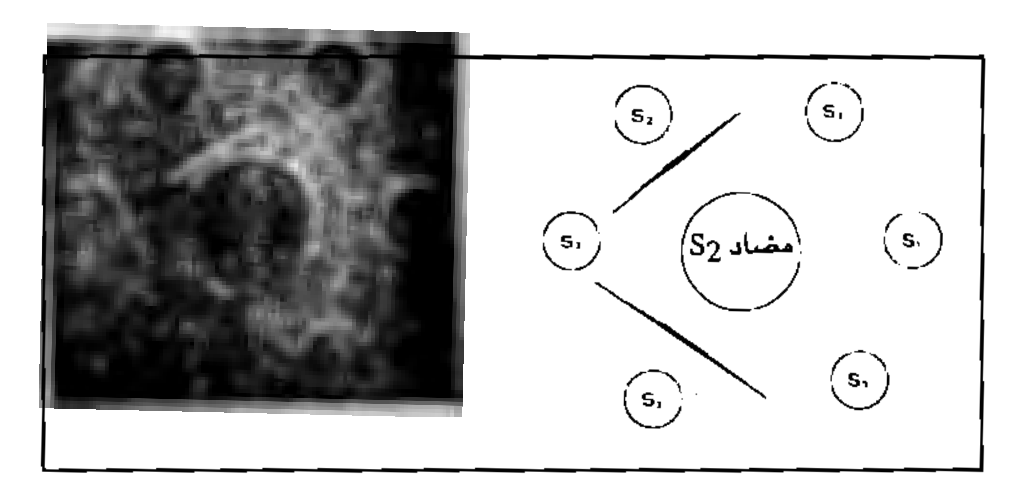
٣- الطريقة السيرولوجية Serological Method :

تجرى الطريقة السيرولوجية بجمع ١٠٠٠-٢٠٠٠ ميسم من كل من السلالات التى يراد دراسة القرابة الوراثية بينها ، ويفضل أن يكون بعضها معلوم التركيب الوراثى . تهرس مياسم كل سلالة فى محلول ملحى (٠.٨٪ كلوريد صوديوم) ، ثم تجرى عملية استخلاص للأنتيجينات الموجودة بها . ويحقن مستخلص الأنتيجينات فى أرانب التجارب على مراحل، على أن يخصص أرنب لكل سلالة . ينزف جزء من دم الأرنب بعد أربعة أسابيع من بداية الحقن ، ثم يحصل منه على مضاد السيرم antiserum ، وهو الذى يحتوى على الأجسام المضادة antibodies ، التى أفرزها الأرنب كإجراء وقائى ضد الأجسام الغريبة (الأنتيجينات) التى أدخلت فى دمه .

ولدراسة العلاقة بين أى تركيب وراثى معلوم وآخر مجهول .. يُجْرَى اختبار سيرولوجى

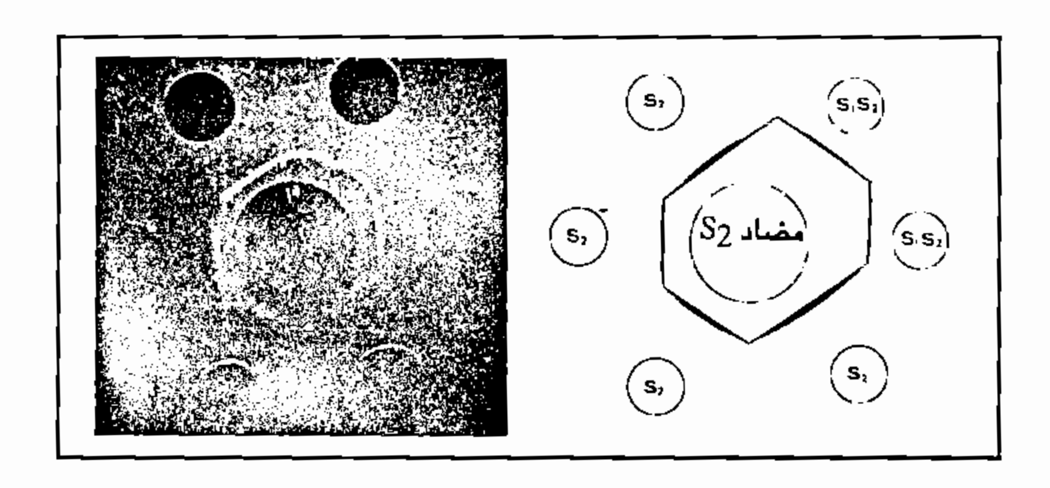
فى طبق بترى ، توجد به طبقة رقيقة من أجار نقى nobel agar ؛ بتركيز ١٪ . وتُصنَع فى الآجار حفرة وسطية ، كبيرة فى وسط الطبق ، وست حفر جانبية صغيرة حولها ؛ بواسطة ثاقبات فلين ، أو بواسطة ثاقبات خاصة لهذا الغرض . ويوضع ٠,١٥ مل من مضاد السيرم المعلوم فى الحفرة الوسطية ، ويوضع ٠,٠٢ مل من كل من مستخلصات الأنتيجينات المجهولة فى الحفر الجانبية . ويكفى ١٠ مياسم – فقط – لتحضير كل من هذه المستخلصات المجهولة التركيب الوراثى .

تحفظ الأطباق – بعد ذلك – فى حضان على درجة حرارة ثابتة (حوالى ٢٧°م) . ؛ حيث يلاحظ – بعد ساعات قليلة – ظهور خط ترسيب percipitation band بين بعض الحفر الجانبية والحفرة الوسطية ، ويكون ذلك دليلاً على اشتراكهما فى نفس آليلات عدم التوافق (شكل ٨–٢) . ويكون عدم ظهور خط الترسيب بين إحدى الحفر الجانبية والحفرة الوسطية دليلاً على عدم وجود أية قرابة وراثية بينهما فى آليلات عدم التوافق ، وبذا .. يمكن الاستدلال على التركيب الوراثى المجهول من التركيب الوراثى المعلوم ، ودراسة القرابة الوراثية بينها .



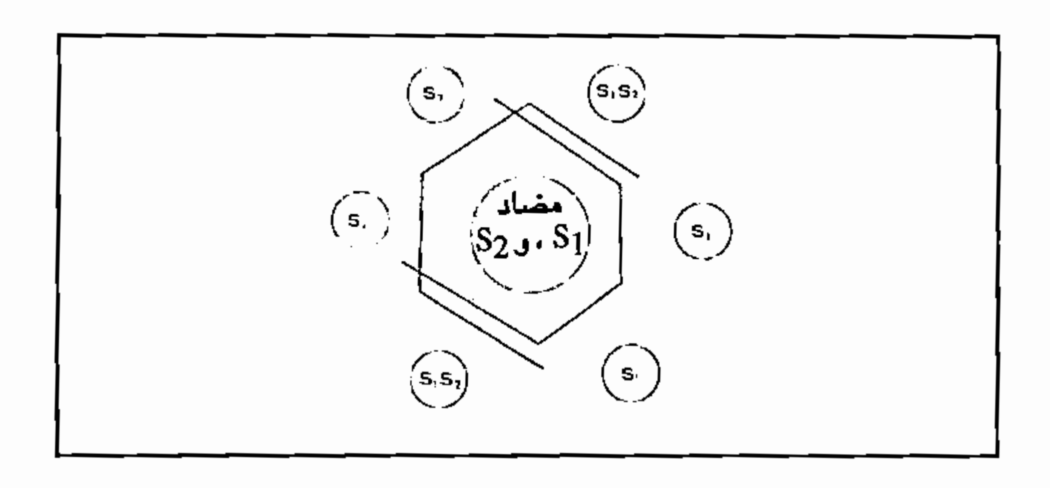
شكل (٨ – ٢) : اختبار سيرولوجى تظهر فيه خطوط ترسيب بين الحفرة الوسطية التى تحتوى على مضاد السيرم S_2 والحفر الجانبية التى تحتوى على مستخلص أنتيجينات نفس العامل S_2 ، أما الحفر الجانبية التى تحتوى على مستخلص الأنتيجينات S_1 أو S_3 فلا تظهر خطوط ترسيب بينها وبين الحفرة الوسطية (عن Wallace & Nasrallah ١٩٦٨) .

هذا .. وتختلف خطوط الترسيب فى موقعها بين الحفر الجانبية والحفرة الوسطية باختلاف آليلات عدم التوافق ، وباختلاف تركيز كل من مستخلص الأنتيجين ، ومضاد السيرم (شكل ٨-٣) . وعندما تلتحم نهايات خطوط الترسيب التى تتكون بين الحفرة الوسطية وحفر جانبية متجاورة .. فإن ذلك يعد دليلاً على اشتراك الحفر الجانبية فى نفس آليل - أو آليلات - عدم التوافق (شكل ٨-٤) .



شكل (٨ - ٣) : اختبار سيرولوجى يختلف فيه موقع خطوط الترسيب بين الحفرة الوسطية والحفر الجانبية بسبب اختلاف تركيز الأنتيجين S_2 فى الحفر الجانبية ، حيث يكون التركيز أعلى فى التركيب الوراثى الأصيل عما فى التركيب الخليط S_1S_2 . ينتج التركيب الأخير كلا الأنتجينين S_1 ، و S_2 . ينتشر أنتيجين S_2 فى الآجار من الحفر الجانبية التى تحتوى على تركيز مرتفع بسرعة أكبر ، فيتقابل مع مضاد S_2 فى موقع أقرب إلى الحفرة الوسطية ، مما يحدث مقابل الحفر الجانبية التى تحتوى على تركيز منخفض من الأنتيجين S_2 (التى يوجد بها تركيب وراثى خليط) .

ويلاحظ أن جميع مياسم النوع النباتى الواحد تشترك فيما بينها فى عدد من الأنتيجينات الأخرى ، غير تلك التى تنتجها آليلات عدم التوافق ؛ وعليه فإن مستخلص أنتيجينات أية سلالة ، يعطى خط ترسيب سميكاً مع مضاد سيرم أية سلالة أخرى ، وإن لم يكونا مشتركين فى آليلات عدم التوافق . ويظهر خط الترسيب السميك هذا -الخاص بالأنتيجنات العامة المشتركة بين جميع مياسم النوع الواحد- كدائرة بين الحفرة الوسطية والحفر الجانبية (شكل ٨-٥) . ويؤدى التخلص من الأجسام المضادة لهذه الأنيتجينات من



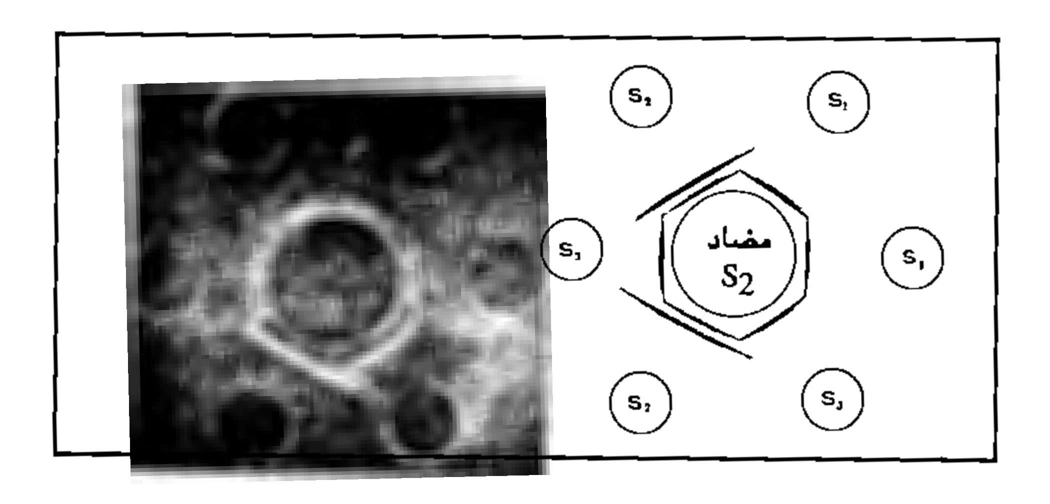
شكل (٨ – ٤) : اختبار سيرولوجى تلتحم فيه نهايات خطوط الترسيب التى تشترك فى نفس عوامل عدم التوافق .

مضاد السيرم ، الذى توجد به .. إلى اختفاء هذه الحلقة السميكة ، التى تظهر فى الاختبار السيرولوجى . ولاتبقى – حينئذ – إلا خطوط الترسيب الخاصة بآليلات S المشتركة (شكل ٨–٢) ، وهو ما يجعل الاختبار أكثر وضوحا . ويتم التخلص من الأجسام المضادة للأنتيجينات العامة فى جميع المياسم ؛ وذلك بخلط مضاد سيرم سلالة ما مع ضعف حجمه من مستخلص أنتيجينات مياسم سلالة أخرى ، لاتشترك معها فى آليلات عدم التوافق فى أنبوبة اختبار ، لمدة ساعة على درجة ٣٧°م ، ثم يخزن المخلوط لمدة يوم فى الثلاجة ، وبعدها .. يُرشَّح ، ويستعمل الراشح كمضاد سيرم معامل (يسمى مضاد سيرم ممتصاً absorbed antiserum) . ولمزيد من التفاصيل عن الاختبارات السيرولوجية – للتعرف على عوامل عدم التوافق – يراجع Wallace & Nasrallah (١٩٦٨) .

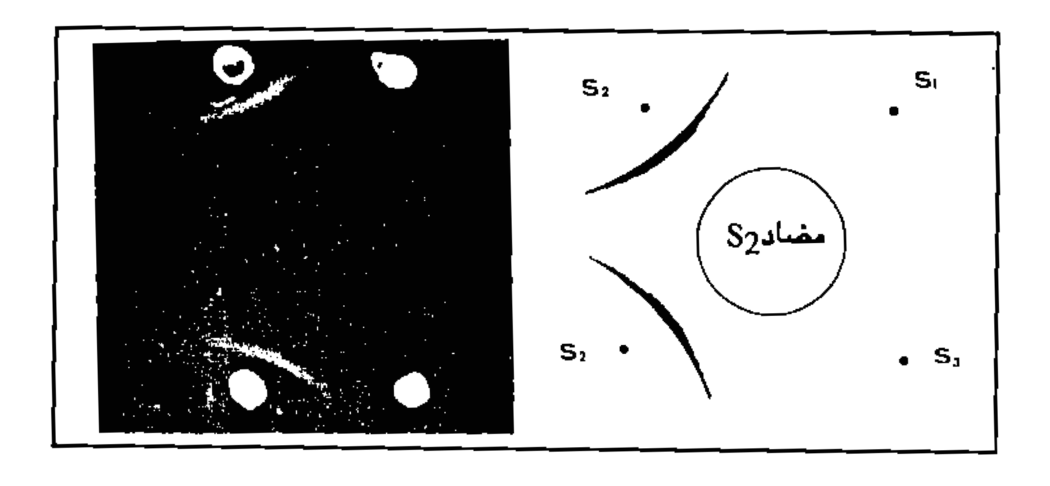
هذا .. ويمكن استعمال مياسم الأزهار مباشرة ؛ كبديل لمستخلص الأنتيجينات . ويجرى الاختبار بوضع ١–٣ مياسم فى الحفر الجانبية . وتكون خطوط الترسيب فى هذه الحالة مقوسة كما فى شكل (٨–٦) .

٤– طريقة الصبغ اللاصف (الفلورى) Fluorescent Staining :

تعتمد طريقة الصبغ الفلورى على إجراء كل التلقيحات الممكنة بين مجموعة من



شكل (٨ – ٥) : اختبار سيرولوجى استعمل فيه مضاد سيرم غير ممتص ، ترى فيه دائرة ترسيب حول الحفرة الوسطية ، تمثل التفاعل بين الأنتيجينات العامة المشتركة بين جميع المياسم وأجسامها المضادة ، أما خطا الترسيب الأخران الظاهران بالشكل .. فهما نتيجة للتفاعل بين الأنتيجين S_2 ومضاده .



شكل (٨ – ٦) : خطوط الترسيب المقوسة التى تظهر فى الاختبارات السيرولوجية التى يستعمل فيها مياسم الأزهار مباشرة بدلاً من مستخلص الأنتيجنيات .

السلالات التى يعرف التركيب الوراثى لبعضها ، ثم تقطف الأزهار بعد يوم – أو يومين – من التلقيح ، ويفصل القلم والميسم عن بقية الزهرة ، ويصبغان بصبغة أزرق الأنيلين aniline blue . ويهرس القلم والميسم – بعد ذلك – تحت غطاء شريحة الفحص الميكرسكوبى ، ويفحصان مباشرة فى ميكرسكوب ، تعتمد الرؤية فيه على الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Microscope ؛ حيث يحدث استشعاع لصبغة أزرق الأنيلين ، التى تتجمع فى حبوب اللقاح والأنابيب اللقاحية ؛ وعليه .. فإن حبوب اللقاح والأنابيب اللقاحية تبدو واضحة ، بينما تكون بقية أنسجة الميسم والقلم مظلمة . وكما فى الطريقة الثانية .. فإنه تُرى أعداد كبيرة من الأنابيب اللقاحية فى أقلام أزهار التلقيحات المتوافقة ، بينما تكون الأنابيب اللقاحية قليلة جداً –أو معدومة – فى التلقيحات غير المتوافقة . ويستدل من ذلك .. على التركيب الوراثى للسلالات المجهولة والعلاقة بين مختلف السلالات . استعمل Crehu (١٩٦٨) هذه الطريقة فى دراسة عوامل عدم التوافق فى كل من الكيل ، والكرنب ، والقنبيط . وقد استعملها Hal & Verhoeven (١٩٦٨) كذلك فى دراسة العلاقة بين ٦٠ سلالة مرباة تربية داخلية inbred lines من كرنب بروكسل ، وتمكنا خلال موسم واحد من دراسة العلاقة بين ١٥ آليلاً للعامل S ، وتحديد علاقة السيادة بينها ، والتعرف على التركيب الوراثى لكل سلالة . هذا .. وتعتبر تلك هى أبسط الطرق لدراسة عوامل عدم التوافق . ولمزيد من التفاصيل عنها .. يراجع Dickson & Wallace (١٩٨٦) .

طرق إكثار السلالات غير المتوافقة ذاتياً

إن الفائدة الوحيدة للسلالات غير المتوافقة ذاتيا هى استعمالها كآباء عند إنتاج الهجن التجارية ؛ حيث تؤدى زراعة خطوط متجاورة من سلالتى الأبوين ، إلى أن تلقح كل منهما الأخرى ؛ لأن التلقيح الذاتى لأى منهما غير ممكن ؛ وبذا .. فإن البذور التى تحصد من أية سلالة من سلالتى الآباء .. تكون بذوراً هجيناً . ونظراً لأن محاولة تلقيح هذه السلالات – ذاتيًا – بصورة طبيعية لإكثارها لايُجْدى (لأنها لاتتلقح ذاتيًا) ؛ لذا .. اتجه التفكير نحو طرق أخرى لتحقيق ذلك ؛ حتى يمكن المحافظة عليها . وتعتمد جميع هذه الطرق على محاولة إجراء التلقيح الذاتى بطريقة تسمح بتفادى المواد الموجودة فى الميسم ، والتى تمنع إنبات حبوب اللقاح علما بأن مايصلح منها لمحصول ما ربما لايصلح لمحاصيل أخرى .

ومن هذه الطرق .. ما يلى :

١- التلقيح البرعمى Bud Pollination :

يؤدى إجراء التلقيح فى الطور البرعمى إلى إفلات حبوب اللقاح من المواد المانعة (الجليكوبروتينات) ، التى تتكون فى الميسم ، والتى يصل تركيزها إلى الذروة فى الوقت المناسب للتلقيح الطبيعى . كما يسمح التلقيح فى هذا الطور بنمو الأنابيب اللقاحية ، ووصولها إلى البويضة فى الوقت المناسب . ويجرى التلقيح البرعمى فى الكرنب للبراعم التى يبلغ طولها حوالى ٤ مم ، ويتم بإزالة الجزء العلوى من السبلات والبتلات المحيطة بالقلم ؛ حتى يظهر الميسم الذى يُلقح بحبوب لقاح زهرة حديثة التفتح من النبات نفسه ، والتى تكون قد سبقت حمايتها من التلوث بحبوب لقاح غريبة ؛ بوضع كيس عليها قبل تفتحها . ويكرر ذلك على مجموعة من البراعم المتجاورة ، ثم تُزال البراعم المجاورة ، وتكيّس النورة لمدة أسبوع ؛ لأن مياسم الأزهار تكون مستعدة لاستقبال حبوب اللقاح لمدة ٤-٥ أيام (عبد العال ١٩٦٤) .

٢- يفيد هرس المياسم أو إزالتها - أحياناً - فى نجاح التلقيح الذاتى فى محاصيل قليلة، ويؤدى هذا الإجراء إلى التخلص من المواد المناعة لإنبات حبوب اللقاح ، التى توجد فى الميسم .

٣- الاستفادة من ظاهرة التوافق الكاذب Pseudo Incompatibility

تحدث نسبة قليلة جداً من الإخصاب الذاتى فى معظم حالات عدم التوافق - خاصة الجاميطى منها - ويعرف ذلك بالإخصاب الكاذب . ويمكن الاستفادة من هذه الظاهرة بإجراء التلقيح الذاتى المطلوب - يدوياً - مع نقل كمية كبيرة من حبوب اللقاح ، ولاتحدث هذه الظاهرة فى الظروف الطبيعية ؛ لأن ميسم الزهرة الواحدة تصل إليه حبوب لقاح متوافقة ، وأخرى غير متوافقة ؛ فيحدث الإخصاب - سريعًا - بالحبوب المتوافقة التى تنبت فى وقت قصير ، بينما لاتستطيع حبوب اللقاح غير المتوافقة منافستها فى ذلك (Williams ١٩٦٤) .

٤- خفض درجة الحرارة خلال فترة التلقيح والإخصاب :

ربما تؤدي هذه المعاملة إلى إبطاء تكوين المواد المانعة ؛ بدرجة تسمح بنمو الأنبوبة اللقاحية ، ووصولها إلى المبيض .

٥- تمكن Roggen & Van Dijk (١٩٧٢) من كسر حالة عدم التوافق في كرنب بروكسل ؛ بتجريح الميسم خلال التلقيح بفرشاة ، استبدل فيها الشعر بأسلاك من الصلب ، يبلغ قطرها ٠,٠١ مم ، وطولها ٤ مم . وقد أعطت هذه الطريقة نتائج قريبة من نتائج التلقيح البرعمي ؛ فبينما أعطى كل تلقيح برعمي من ١-٣ بذور .. فإن هذه الطريقة أعطت ١,١ - ٢,٦ بذرة من كل تلقيح . وتتميز هذه الطريقة عن طريقة التلقيح البرعمي بإمكان تلقيح جميع الأزهار ؛ وبذا .. يمكن الحصول على كمية أكبر من البذور من كل نبات .

٦- تمكن Roggen وآخرون (١٩٧٢) من كسر حالة عدم التوافق في كرنب بروكسل ؛ بتوليد جهد كهربائي قدره ١٠٠ فولت بين حبوب اللقاح والميسم في أثناء عملية التلقيح . وقد اختلفت نتائج هذه الطريقة باختلاف شدة حالة عدم التوافق في سلالات كرنب بروكسل ، كما يلي :

(أ) لم يكن للمعاملة أي تأثير في متوسط عدد البذور من كل تلقيح في سلالة متوافقة ذاتيًا .

(ب) تضاعف عدد البذور من كل تلقيح في سلالة ضعيفة في حالة عدم التوافق .

(جـ) تضاعف عدد البذور من كل تلقيح إلى ٣٠ مثلاً في سلالة قوية في حالة عدم التوافق .

(د) تضاعف عدد البذور من كل تلقيح إلى ١٣١ مثلاً في سلالة عديمة التوافق .

كما استعمل Roggen & Van Dijk (١٩٧٣) هذه الطريقة بنجاح في إجراء التلقيح الذاتي لعدد من سلالات الكرنب ، وأعطت نتائج قريبة لنتائج التلقيح البرعمي .

٧- معاملة الأزهار بغاز ثاني أكسيد الكربون :

درس تأثير المعاملة بغاز ثاني أكسيد الكربون ، في خمسة أصناف من الكرنب الصيني

فى معهد بحوث وتنمية الخضر الآسيوى (AVRDC ١٩٨٧) ، وكانت النتائج كما يلى :

(أ) أعْطَتْ المعاملةُ بالغاز - بتركيز ٢٪- عدداً من البذور من الأزهار المتفتحة ، مماثلاً للعدد الذى أمكن الحصول عليه من التلقيح البرعمى فى بعض السلالات ، وكان تركيز ٣٪ لازماً فى سلالات أخرى ، ولم يكن الغاز مؤثراً فى مجموعة ثالثة من السلالات .

(ب) كانت الفترة المناسبة للمعاملة بالغاز لإحداث التأثير المطلوب من ٢-٣ ساعات فى السلالات الحساسة .

(جـ) كان أقوى تأثير للمعاملة بالغاز عند إجرائها بعد التلقيح مباشرة ، ثم قلت الحساسية للغاز - تدريجيًا - بعد ذلك .

(د) ازداد عدد الأنابيب اللقاحية التى أمكن عدّها بعد التلقيح الذاتى للأزهار المتفتحة ، عند المعاملة بالغاز .

٨- معاملة الأزهار بمحلول كلوريد الصوديوم

أمكن التخلص من حالة عدم التوافق فى الكرنب الصينى ؛ برش الأزهار بمحلول كلوريد الصوديوم ، بتركيز ٣٪ بعد نصف ساعة إلى ساعة من التلقيح الذاتى . وقد وجد Monteiro وآخرون (١٩٨٨) أن معاملة مياسم نباتات الكرنب الصينى غير المتوافقة ذاتيًا بمحلول كلوريد الصوديوم .. أدت إلى التخلص من حالة عدم التوافق ، وكان أفضل تركيز هو ١٥, ٠٪ مع إجراء المعاملة قبل التلقيح بنحو ١٠-١٥ دقيقة ، إما باستعمال ماصة صغيرة (حيث أعطى التلقيح ٨,٢ بذرة/ثمرة) ، وإما بواسطة قطعة قطن مبللة بالمحلول (حيث أعطى التلقيح ٧,٢ بذرة/ثمرة) . وقد أدت المعاملة بكلوريد الصوديوم إلى زيادة تثبيت حبوب اللقاح على الميسم ، وزيادة إنباتها ، وتقليل تكوين الكالوز callose على نتوءات الميسم .

وقد قارن Wilkins & Beyer (١٩٨٨) تأثير طريقتى المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون ، والمعاملة بكلوريد الصوديوم فى ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى سلالة من

البروكولى ، وكانت النتائج كما يلى :

طريقة التلقيح	عدد البذور/١٠ثمار
المقارنة (التلقيح الذاتى)	صفر
إضافة Nacl للميسم بتركيز ١٥,٠٪ بحقنة صغيرة قبل التلقيح بـ ١٥ دقيقة	١,٤٠
إضافة Nacl للميسم بتركيز ١٥,٠٪ بقطعة قطن قبل التلقيح بـ ١٥ دقيقة	١,٠٧
المعاملة بثانى أكسيد الكربون بتركيز ٥٪ لمدة ٢٤ ساعة تبدأ بعد التلقيح	٣,٨٠
التلقيح البرعمى	٠,٤٠

العوامل المؤثرة على شدة حالة عدم التوافق

تتأثر حالة عدم التوافق في النباتات بعدة عوامل ؛ بعضها وراثى ، وبعضها بيئى ، وأهمها ما يلى :

١- التضاعف :

لايؤثر التضاعف -كثيراً- على حالة عدم التوافق الاسبوروفيتى ؛ لأن هذا النظام لعدم التوافق لايتوقف على التركيب الوراثى لحبة اللقاح ، وإنما على التركيب الوراثى للنبات الذى أنتج حبة اللقاح (الطور الاسبوروفيتى) ؛ ولاتغير مضاعفة عدد الكروموسومات من طبيعة العلاقة بين آليلات عدم التوافق ؛ فلو كان التركيب الوراثى للنبات الثنائى هو $S_1 > S_2$ .. فإن مضاعفة عدد الكروسومات يغيره إلى$S_1S_1S_2S_2$، ويبقى الآليل S_1 سائداً على S_2 سواء أكان ذلك فى حبوب اللقاح ، أم فى الميسم . ولكن تتعقد العلاقة – كثيراً – بين آليلات عدم التوافق ، إن كان النبات الرباعى خليطاً فى جميع آليلات S ؛ كأن يكون تركيبه الوراثى $S_1S_2S_3S_4$.

وفى المقابل .. فإن التضاعف يضعف حالة عدم التوافق الجاميطى ؛ لأن النبات المتضاعف من S_1S_1 إلى S_1S_1 S_2S_2 ينتج ثلاثة أنواع من حبوب اللقاح الثنائية هى S_1S_1 ، و S_1S_2 ، و S_2S_2، وتكون حبوب اللقاح الخليطة (S_1S_2) قادرة على النمو على أى ميسم ؛ لأن كل آليل منهما يضعف تأثير الآليل الآخر . أما حبوب اللقاح الثنائية الأصيلة .. فإنها تبقى كما هى ، غير قادرة على الإنبات على مياسم الأزهار ، التى تحمل

نفس آليلات عدم التوافق .

٢- الجينات المحورة :

تؤثر الجنيات المحورة على التفاعلات الآليلية ، وعلى شدة حالة عدم التوافق .

٣- عمر الزهـرة :

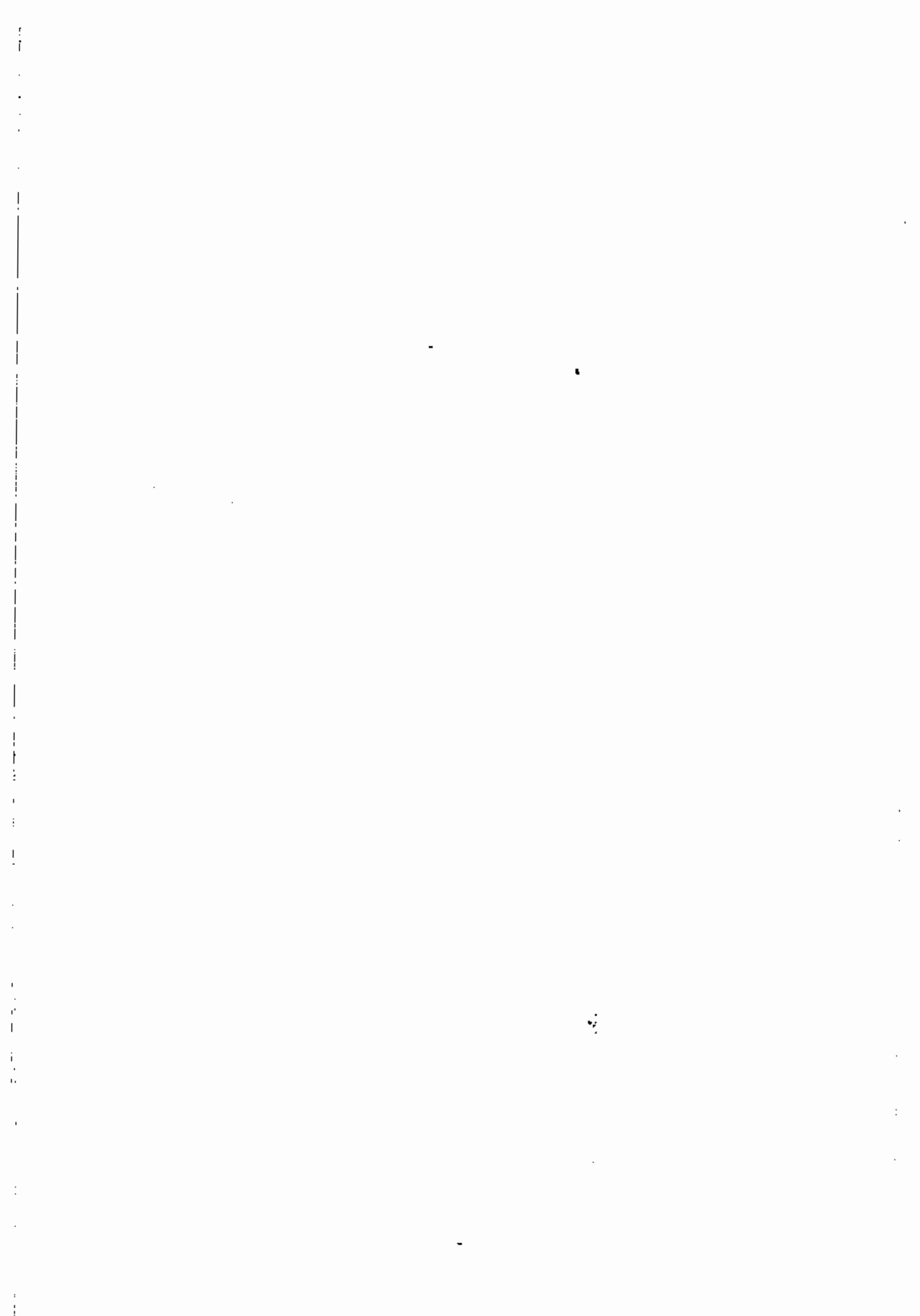
تضعف حالة عدم التوافق فى البراعم الصغيرة ، كما سبق بيانه ، تحت موضوع التلقيح البرعمى . وتزيد حدة حالة عدم التوافق -تدريجيًا- إلى أن تصل إلى أعلى مستوى فى الوقت المناسب للتلقيح .

٤- مرحلة الإزهـار :

وجد Johnson (١٩٧١) أن حالة عدم التوافق الذاتى فى كرنب بروكسل ، تكون فى أعلى مستوياتها خلال الفترة من وسط مرحلة الإزهار إلى نهايتها .

٥- درجة الحرارة السائدة :

سبق أن أوضحنا أن خفض درجة حرارة الإزهار عند التلقيح يساعد - أحياناً - على إجراء التلقيح الذاتى للنباتات غير المتوافقة . كما وجد Johnson (٩١٧١) كذلك أن رفع درجة الحرارة فى مرحلة متأخرة من الإزهار يؤدى إلى زيادة معدل التوافق الذاتى فى كرنب بروكسل ؛ حيث صاحب ذلك زيادة فى عدد الأنابيب اللقاحية النابتة فى القلم ، بعد ٢٤ ساعة من التلقيح .



الفصل التاسع

التربية الداخلية وقوة الهجين

ترتبط دراسة موضوع التربية الداخلية Inbreeding بقوة الهجين Hubrid Vigor ؛ لأن الأخيرة - أى قوة الهجين تظهر - خاصة - بعد تزاوج سلالات سبق تربيتها داخليا . وتعد دراسة هذين الموضوعين مقدمة ضرورية لدراسة الأصناف الهجين والأصناف التركيبية ، وهما موضوع الفصل التالي من هذا الكتاب .

التربية الداخلية

يقصد بالتربية الداخلية أى نظام للتزاوج ، يكون بين أفراد ، تربطها صلة قرابة . وبالمقارنة .. فإن التربية الخارجية Outbreeding يقصد بها التزاوج بين أفراد تقل درجة القرابة بينها - فى المتوسط -عن متوسط درجة القرابة للعشيرة التى تنتمى إليها هذه الأفراد .

ويعتبر التلقيح الذاتى أشد درجات التربية الداخلية فى النبات ، بينما يعتبر التزاوج بين الإخوة الأشقاء أقوى أنواع هذه التربية فى الحيوان . وتخف حدة التربية الداخلية - تدريجيًا - بإجراء التزاوج بين نبات وآخر من نفس النسل sib pollination، وبين نباتين من سلالتين تشتركان فى أحد الآباء ، أو فى أحد الأجداد ... إلخ ، ويقابل

ذلك فى الحيوان التزاوج بين الأخوة غير الأشقاء ، والتزاوج بين الأب وابنته ، وبين أبناء العمومة من الدرجة الأولى ، أو من الدرجة الثانية ... إلخ . وكلما زادت شدة التربية الداخلية ، ظهر أثرها بعد عدد أقل من أجيال التربية .

الهدف من التربية الداخلية

تجرى التربية الداخلية على النباتات الخلطية التلقيح ، لتحقيق الأغراض التالية :

١- الحصول على سلالات صادقة التربية True Breeding أصيلة وراثياً (كما سيأتى بيانه فيما بعد) لايتغير تركيبها الوراثى عند إكثارها ، وتعطى عند تلقيحها - معاً - هجناً ، لايتغير تركيبها الوراثى بتكرار إجراء نفس التهجين .

٢- يستفاد من السلالات الناتجة من التربية الداخلية فى خفض نسبة الأليلات الضارة غير المرغوب فيها عند استعمالها كآباء للأصناف التركيبية ، أو الأصناف الخضرية التكاثر.

٣- تزيد التربية الداخلية من الاختلافات الوراثية بين أفراد العشيرة (بين السلالات المتكونة) ، ويفيد ذلك فى زيادة كفاءة عملية الانتخاب ، والتحسين الوراثى المتوقع فى برامج التربية .

٤- يمكن الاستفادة من التربية الداخلية فى إنتاج أصناف جديدة من المحاصيل الخضرية التكاثر ، لاتتغير خصائصها عند إكثارها بالبذرة ؛ مثل صنف الخرشوف تالبايوت Talpiot الذى يكثر - تجارياً - بالبذرة ، والذى نشأ من أحد الأصناف الإيطالية ، الذى أخضع للتربية الداخلية لخمسة أجيال ، وعزلت منه سلالة قوية النمو ، كانت هى أساس الصنف الجديد (Basnitzki & Zohary ١٩٨٧) .

تأثير التربية الداخلية فى الشكل الظاهرى

تبين من نتائج عديد من الدراسات والملاحظات التى أجريت قبل بداية القرن الحالى أن التربية الداخلية فى النباتات الخلطية التلقيح -بطبيعتها- تؤدى غالباً إلى تدهور فى النمو، وأن التهجين بين الأفراد غير المتشابهة تصاحبه -غالباً- زيادة كبيرة فى قوة النمو . واستدل من ذلك على أن التربية الخارجية لابد أن يكون لها أهمية بيولوجية ، خاصة أن عديداً من الأنواع النباتية توجد بها ظواهر كثيرة تشجع على حدوث التلقيح الخلطى فيها .

وبالرغم من كل ذلك .. فقد ظل الأساس الوراثى لهذه الحقائق غير واضح إلى ، أن اكتشفت دراسات مندل فى عام ١٩٠٠ .

كانت أولى التجارب التى أجريت فى هذا المجال بعد عام ١٩٠٠ تلك التى قام بها East فى عام ١٩٠٥ ، و East & Jones فى عام ١٩١٩ على نبات الذرة ، وهو نبات خلطى التلقيح ؛ فقد تبين لهما أن الجيل الأول الناتج من التلقيح الذاتى لنبات الذرة يكون - دائماً - أقل من النبات الملقح ذاتيًا -فى الحجم والمحصول- واستمر هذا التدهور جيلاً بعد آخر ، إلى أن وصلت التربية الداخلية إلى الجيل السابع أو الثامن ؛ حيث لم تتأثر صفات السلالات المرباة داخليا ، والمتكونة باستمرار التلقيح الذاتى لأكثر من ذلك . كما أدت التربية الداخلية إلى انعزال سلالات من الذرة ، اختلفت عن بعضها فى عديد من صفاتها الظاهرية ؛ مثل : قوة التفرع ، وطول النبات ، وموضع الكوز على النبات ، وعدد الخلفات ، ولون الحبوب ، وحجمها .. إلخ . وأخيراً ... فإن كل سلالة احتفظت بصفاتها دون تغيير مع استمرار التربية الداخلية بعد الجيل الثامن .

وقد أطلق مصطلح Inbreeding Depression على التدهور الذى يصاحب عملية التربية الداخلية . وأهم مظاهر هذا التدهور ضعف النمو ، ونقص المحصول ، وظهور صفات غير مرغوبة . ويعتبر نقص الكلوروفيل أكثر هذه الصفات الضارة ظهوراً ، وهو يتراوح من نقص بسيط فى جزء من الورقة ، إلى نقص يشمل النبات كله . ويختلف مدى الضعف فى قوة النمو المصاحب للتربية الداخلية من محصول لآخر ؛ فنبات الذرة يتدهور كثيرا بالتربية الداخلية ، ولكنه يعتبر أكثر تحملاً من البرسيم الحجازى ، الذى تظهر به انعزالات كثيرة مميتة ، وأخرى منخفضة الحيوية ، لدرجة أن نسبة السلالات التى يمكن إكثارها بعد الجيل الثالث للتقليح الذاتى تكون منخفضة ، ويكون محصولها شديد الانخفاض ، ويلزم - حينئذ - اتباع طرق تربية داخلية أقل حدة من التلقيح الذاتى . كذلك تتدهور الصليبيات والجزر - بشدة - مع التربية الداخلية ، ويصل النقص فى قوة النمو إلى ٣٥٪ بعد جيل واحد من التلقيح الذاتى فى الكرات أبو شوشة ، إلا أن البصل - وهو محصول خلطى التلقيح - يتحمل التربية الداخلية - بدرجة كبيرة - حيث لا تتأثر بعض أصنافه بالتربية الداخلية ، بينما يظهر ببعضها الآخر تدهور قليل إلى متوسط - مع التربية الداخلية ، ولاتوجد أية مشاكل فى إكثار سلالات البصل المرباة داخلياً .

ومن الأنواع النباتية الأخرى الخلطية التلقيح التى تتحمل التربية الداخلية بدرجة واضحة عباد الشمس ، والشيلم ، وعشب التيموثى timothy ؛ حيث لايظهر بها كثير من الانعزالات المنخفضة الحيوية مع التربية الداخلية . كما أمكن الحصول على سلالات أصيلة منها – بالتربية الداخلية – لم تختلف – فى قوة نموها – عن الأصناف الأصلية المفتوحة التلقيح التى جاءت منها . وأخيرا .. فإن هناك من المحاصيل الخلطية التلقيح ما لاتتأثر على الإطلاق بالتربية الداخلية ، وتعتبر القرعيات من أهم الأمثلة على ذلك . ومن الطبيعى أن تُلَقَّح النباتات الذاتية التلقيح – بطبيعتها – تلقحياً ذاتياً منذ نشأتها ، دون أن يبدو عليها أى أثـر ضـار مـن جـرّاء ذلك، ويُحسب التدهور المصاحب للتربية الداخلية Inbreeding Depression بالمعادلة التالية :

$$\text{Inbreeding Depression} = \frac{\bar{F}_1 - \bar{F}_2}{\bar{F}_1} \times 100$$

حيث $\bar{F}_2$, $\bar{F}_1$ هما متوسطا الجيلين الأول والثانى على التوالى ، مع العلم بأن نباتات الجيل الأول تُلَقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى (عن Mather & Jinks ١٩٧٧) .

تأثير التربية الداخلية فى التركيب الوراثى

فسرت نتائج دراسات East & Jones على اعتبار أن التربية الداخلية تؤدى إلى انعزال سلالات أصيلة – وراثيًا – هى السلالات المرباة داخليًا Inbred Lines ، وهى التى تتكون بنفس الطريقة التى تنشأ بها السلالات النقية Pure Lines ، التى سبقت مناقشتها فى الفصل الثالث ، فكلاهما ينشأ بالتلقيح الذاتى المستمر ، والفرق الوحيد بينهما أن السلالات المرباة داخليًا تنشأ بالتلقيح الذاتى الصناعى فى النباتات الخلطية التلقيح بطبيعتها ، بينما تنشأ السلالات النقية بالتلقيح الذاتى الطبيعى فى النباتات الذاتية التلقيح ، وتكون نباتات أى من نوعى السلالات على درجة عالية جداً (تصل إلى ١٠٠٪ فى السلالات النقية) فى كل من الأصالة الوراثية homozygosity والتجانس الوراثى homogenity (تراجع تفاصيل هذا الموضوع فى الفصل الثالث) .

ولبيان كيفية تكوين سلالات أصيلة وراثياً بالتلقيح الذاتى المستمر .. نفترض وجود

فرد خليط فى زوج واحد من الجينات ، وليكن Aa . ويمثل هذا الفرد الجيل S_0 الذى لم تخضع آباؤه للتلقيح الذاتى selfing بعد . فإذا أجرى التلقيح الذاتى لهذا الفرد .. فإن نسله يمثل الجيل S_1 ، وهو أول جيل ينتج من التلقيح الذاتى ، الذى نجد فيه أن نصف الأفراد تكون خليطة Aa ، بينما تكون ربع الأفراد أصيلة سائدة AA ، وربعها الآخر أصيلة متنحية aa . وباستمرار التلقيح الذاتى لنباتات الجيل S_1 وأجيال التلقيح الذاتى التـاليـة(S_2 ، وS_3 ، وS_4) ... إلخ .. نلاحظ استمرار نقص نسبة الخلط (عدم التماثل) الوراثى heterozygosity بمقدار النصف ، بعد كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى ؛ ويصاحب ذلك زيادة مستمرة فى نسبة الأصالة (التماثل) الوراثى homozygosity جيلا بعد جيل (شكلا ٩ - ١ ، و ٩ - ٢) .

ويلاحظ أن نسبة التراكيب الوراثية AA : Aa : aa كانت ١ : ٢ : ١ ، و٣ : ٢ : ٣ ، و ٧ : ٢ : ٧ ، و ١٥ : ٢ : ١٥ فى الأجيال الأول ، والثانى ، والثالث ، والرابع على التوالى ؛ وعليه .. فإنه يمكن الحصول على نسب التراكيب الوراثية الثلاثة المتحصل عليها لأى جيل من أجيال التلقيح الذاتى من المعادلة التالية :

$$AA : Aa : aa = (٢^{م} - ١) : (٢) : (٢^{م} - ١)$$

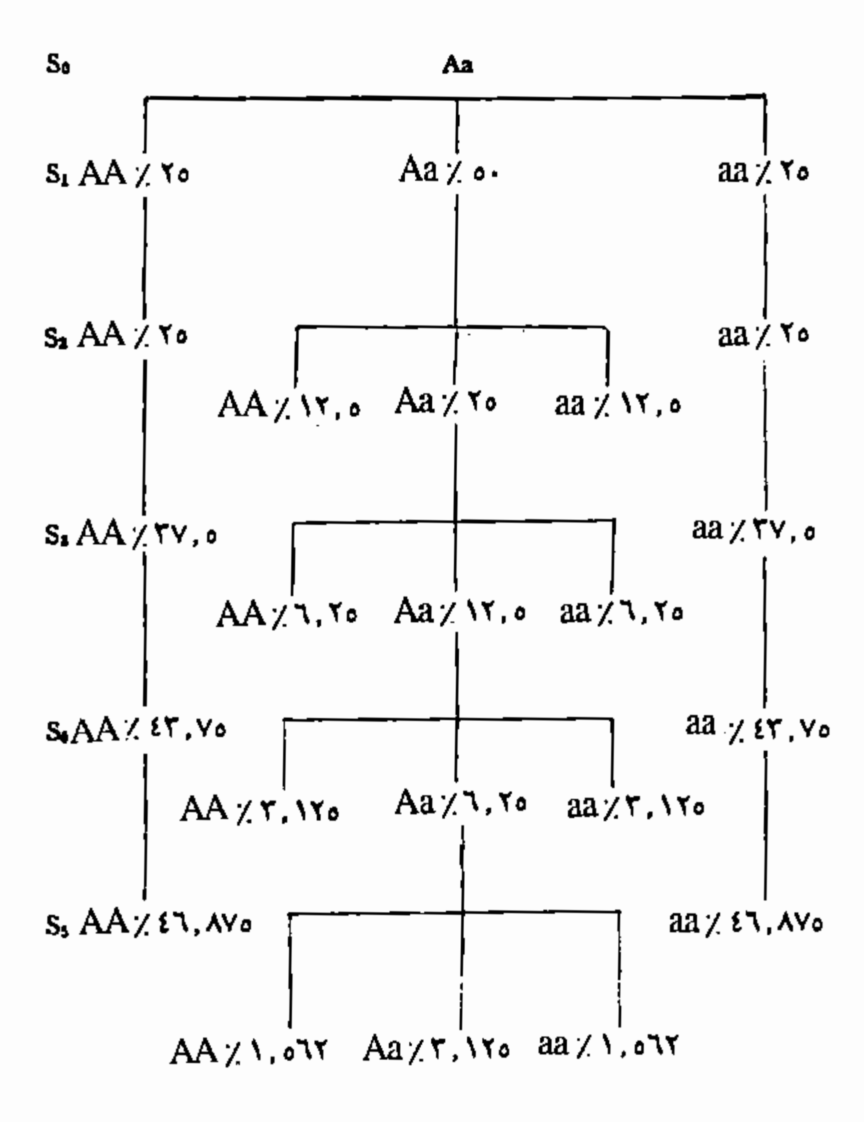
حيث تمثل م عدد أجيال التلقيح الذاتى .

كما يمكن - أيضاً التوصل إلى المعادلتين التاليتين :

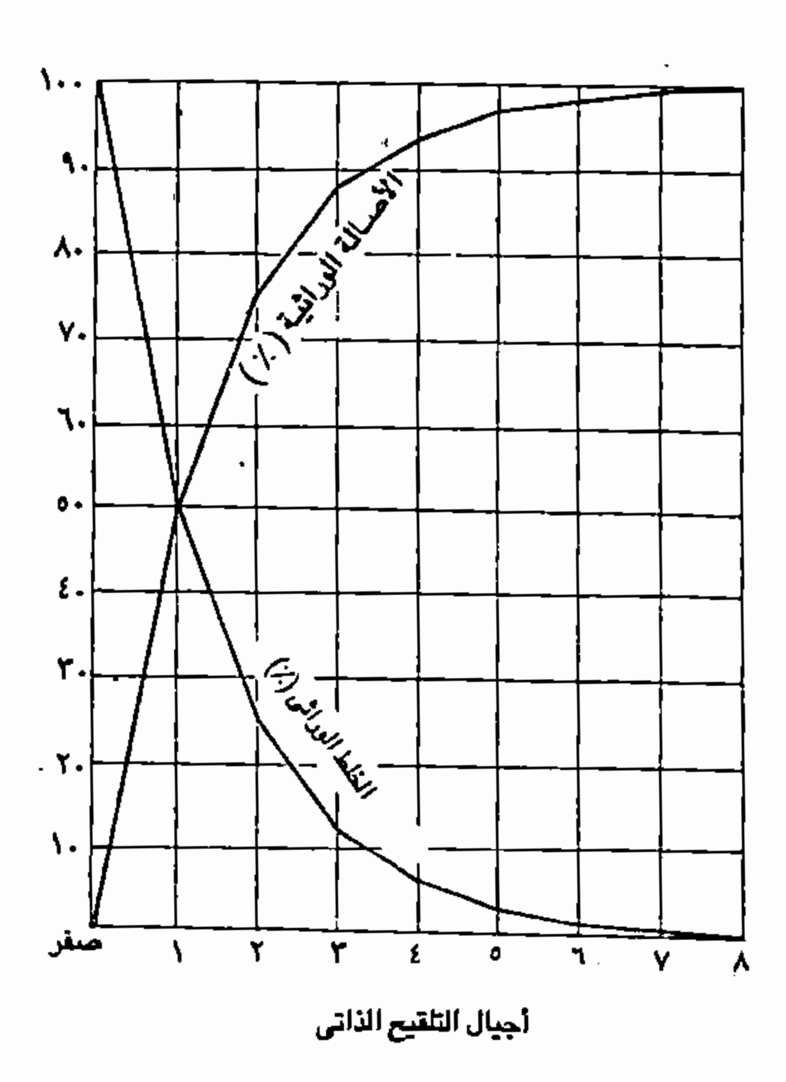
$$\text{نسبة الأفراد الأصيلة} = \frac{٢^{م} - ١}{٢^{م}}$$

$$\text{نسبة الأفراد الخليطة} = \frac{١}{٢^{م}}$$

وتجدر ملاحظة أن المعادلات السابقة خاصة بالحالات التى يكون الانعزال فيها فى زوج واحد من الجينات . كما يلاحظ أيضاً أن التلقيح الذاتى المستمر لم يؤد إلى أى تغير فى نسب الأليلات ؛ حيث بقيت كما كانت عليه فى الجيل الأول ، برغم تغير نسب التراكيب الوراثية . وهذا - طبعاً - بافتراض تساوى التراكيب الوراثية المنعزلة فى درجة



شكل (٩ – ١) : تخطيط يبين كيف يؤدى التلقيح الذاتى المستمر إلى نقص نسبة النباتات الخليطة بمقدار النصف بعد كل جيل من أجيال التلقيح الذاتى .



شكل (٩ – ٢) : التغير فى نسبتى الأصالة (التماثل) الوراثية ، و الخلط (عدم التماثل) الوراثى مع التلقيح الذاتى (عن Chaudhari ١٩٧١) .

خصوبتها ، وعدم حدوث انتخاب لصالح تراكيب وراثية معينة على حساب غيرها ، وعدم حدوث طفرات فى صالح أحد الآليلين بنسبة عالية مؤثرة .

تأثير عدد أزواج العوامل الوراثية المنعزلة على سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية

لحساب نسبة الأفراد الأصيلة فى عواملها الوراثية بعد عدد معين من أجيال التلقيح الذاتى فى حالات الانعزال فى أكثر من زوج من الجينات .. فإنه يمكن التوصل إلى المعادلة الخاصة بذلك من جدول (٩ - ١) . يبين الجدول نسبة الأفراد الأصيلة - وراثيًا - بعد التلقيح الذاتى لعدد (م) من الأجيال ، وفى حالات الانعزال فى (ن) من أزواج العوامل الوراثية . والمعادلة المستنبطة من الجدول هى :

$$\text{نسبة الأفراد الأصيلة وراثياً} = \left(\frac{٢^{م}-١}{٢^{م}}\right)^{ن} \times ١٠٠$$

وتجدر ملاحظة أن (م) تمثل أيضا رقم الجيل الانعزالى ؛ حيث إن $F_1=S_0$ ، و$F_2 = S_1$ (الجيل الانعزالى الأول) ، و $F_3 = S_2$ (الجيل الانعزالى الثانى) ... وهكذا ؛ كما أن (ن) تمثل عدد أزواج العوامل الوراثية الخليطة فى الجيل S_0 ، أو هى عدد العوامل الوراثية التى يختلف فيها أبوا الجيل الأول F_1 .

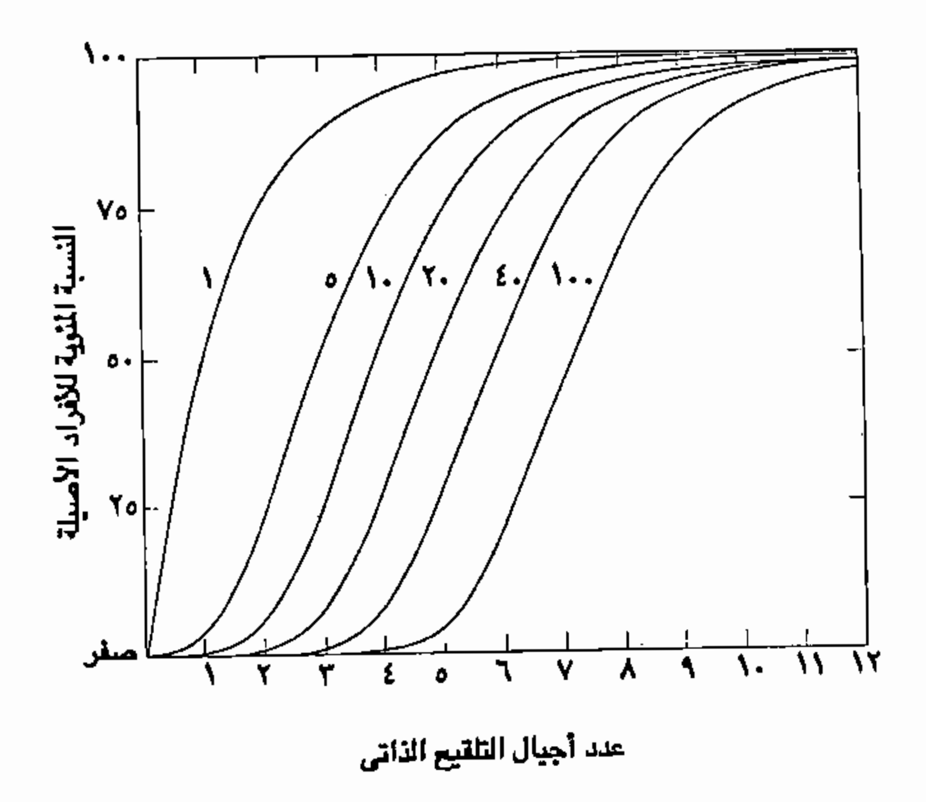
هذا .. ويعاب على هذه المعادلة أنها لاتصلح للتطبيق إلاّ على أزواج الجينات المستقلة فى توزيعها ؛ إذ إن نسبة الإفراد الأصيلة تتغير عند وجود ارتباط بين الجينات المنعزلة .

ويتضح من جدول (٩ - ١) -لدى تطبيق المعادلة المستنبطة منه- أنه كلما زاد عدد العوامل الوراثية المنعزلة (ن) تأخر الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية . ويبين شكل (٩-٣) سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية عند وجود ١ ، و ٥ ، و ١٠ ، و ٢٠ ، و ٤٠ ، و١٠٠ زوج من العوامل الوراثية المنعزلة .

ويمكن الحصول على تفاصيل أكثر عن نسب التراكيب الوراثية المتوقعة ، التى تختلف فى عدد المواقع الجينية الأصيلة أو الخليطة بها ، بعد أى عدد من أجيال التلقيح الذاتى (م) ، وعند اختلاف عدد العوامل الوراثية المنعزلة (ن) من مفكوك المعادلة ذات الحدين :

جدول (٩-١) : تأثير التلقيح الذاتى لعدد (م) من الأجيال على النسبة المئوية للأفراد الأصيلة وراثيًا عند وجود عدد (ن) من العوامل الوراثية المنعزلة .

أجيال التلقيح الذاتى (s)	نسبة الأفراد الأصيلة عند انعزال (ن) من العوامل الوراثية				
	١	٢	٣	٤	(ن)
$F_2 = S_1$	٥٠	٢٥	١٢,٥	٦,٢٥	$١٠٠ \times (\frac{١}{٢})^{ن}$
$F_3 = S_2$	٧٥	٦,٢٥	٤٢,١٩	٣١,٦٤	$١٠٠ \times (\frac{٣}{٤})^{ن}$
$F_4 = S_3$	٨٧,٥	٧٦,٥٦	٦٦,٩٩	٥٨,٦٢	$١٠٠ \times (\frac{٧}{٨})^{ن}$
$F_5 = S_4$	٩٣,٧٥	٨٧,٨٩	٤٢,٤٠	٧٧,٢٥	$١٠٠ \times (\frac{١٥}{١٦})^{ن}$
(م)	$(\frac{٢^م - ١}{٢^م})^{١} \times ١٠٠$	$(\frac{٢^م - ١}{٢^م})^{٢} \times ١٠٠$	$(\frac{٢^م - ١}{٢^م})^{٣} \times ١٠٠$	$(\frac{٢^م - ١}{٢^م})^{٤} \times ١٠٠$	$(\frac{٢^م - ١}{٢^م})^{ن} \times ١٠٠$



شكل (٩ – ٣) سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية homozygosity عند وجود ١ ، و٥ ، و١٠ ، و ٢٠ ، و ٤٠ ، و ١٠٠ زوج من العوامل الوراثية المنعزلة (عن Allard ١٩٦٠) .

$[١ + (٢^{م} - ١)]^{ن}$ ؛ فإذا فُرِضَ وكان عدد أزواج العوامل الوراثية المنعزلة = ٣ ، واستمر التلقيح الذاتى لخمسة أجيال – أى حتى الجيل السادس ($F_6 = S_5$) فإن المعادلة تصبح كمايلى :

$$[\,١ + (٢^{٥} - ١)\,]^{٣}$$

$$= (١+٣١)^{٣}$$

$$= (١^{٣}) + ٣\,(١)^{٢}\,(٣١) + ٣\,(١)\,(٣١)^{٢} + (٣١^{٣})\ .$$

ويعنى ذلك أن الجيل السادس يتكون مما يلى :

$(١^{٣})$ = فرد واحد خليط فى الأزواج الثلاثة من الجينات .

٣ (١)^{٢} (٣١) = ٩٣ فرداً خليطاً فى زوجين من الجينات ، وأصيل فى الثالث .
٣ (١) (٣١)^{٢} = ٢٨٨٣ فرداً خليطاً في زوج واحد من الجينات ، وأصيل فى الزوجين الآخرين
(٣١)^{٣} = ٢٩٦٩١ فرداً أصيلاً فى الأزواج الثلاثة من الجينات .

هذا .. ولاتتفق النسب المحسوبة بالمعادلة مع النسب المشاهدة ، إلا إذا تساوت التراكيب الوراثية فى القدرة على التكاثر ، وهو الأمر الذى لايحدث – عادة – نظراً لأن التراكيب الوراثية الخليطة تكون أقوى نمواً ؛ مما يؤدى إلى إبطاء الوصول إلى التجانس الوراثى .

يتبين مما سبق .. أن التدهور الملاحظ فى صفات النسل الناتج من التلقيح الذاتى لأفراد خليطة فى تركيبها الوراثى هو نتيجة لحدوث الانعزال الجينى ، وتكوين سلالات نقية ؛ ذلك لأن الأفراد الخليطة توجد بها جينات ضارة أو مميتة متنحية ، تكون مستترة ؛ لكونها متنحية ؛ وبذلك .. لايظهر أثرها المباشر في الفرد الخليط ، لوجود الأليل السائد . لكن هذه الجينات تنعزل بحالة أصيلة عند إجراء التلقيح الذاتى ؛ فيظهر – من ثمَّ – أثرها الضار . ومتى انعزلت هذه الجينات ، وثبتت بحالة أصيلة فى السلالات المتكونة .. فإن التدهور المصاحب للتربية الداخلية يتوقف ، كما تثبت صفات السلالات المتكونة وهو الأمر الذى يحدث بعد ٧ – ٨ أجيال من التلقيح الذاتى .

تأثير الارتباط فى سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية

يؤثر الارتباط بين العوامل الوراثية المنعزلة على سرعة الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية من وجهتين كما يلى :

١– يقلل الارتباط من عدد العوامل الوراثية المنعزلة (ن) فى المعادلتين السابقتين ؛ نظراً لأن الجينات المرتبطة بشدة تنعزل ، كما لو كانت جيناً واحدا ، وعليه .. فإن الارتباط يسرع من الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية .

٢– يزيد الارتباط من نسب التراكيب الوراثية المحتوية على الجينات المرتبطة على حساب نسب التراكيب الأخرى ، وعموماً .. فإن الارتباط يحافظ على التراكيب الوراثية للأبوين ، ويقلل من فرصة تكوين انعزالات وراثية جديدة ، وهو بهذا الشكل يجعل مهمة المربى صعبة ، ولكنه يساعد المربى أيضاً من حيث كون الارتباط يحافظ على التراكيب

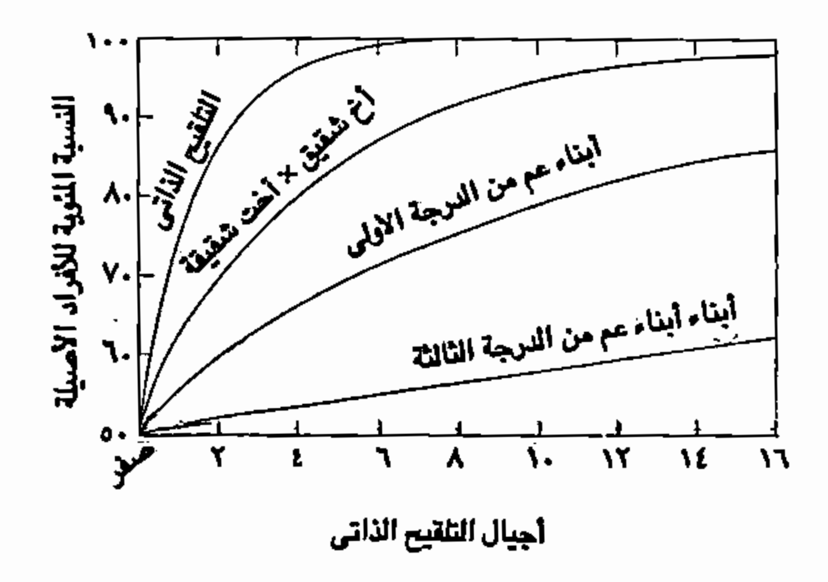
الوراثية المرغوب فيها فى السلالات التى ينتخبها المربى .

تأثير درجة التربية الداخلية على سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية

سبق أن أوضحنا أن التلقيح الذاتى هو أشد درجات التربية الداخلية ، وأنه توجد درجات أقل من ذلك ؛ مثل التزاوج بين نبات وآخر من نسل واحد ، أو بين نباتين من سلالتين تشتركان فى أحد الآباء ، أو فى أحد الأجداد ... إلخ . ويستعمل فى وصف هذه التزاوجات المسميات المستعملة فى تربية الحيوان ، مثل التزاوج بين الإخوة الاشقاء والإخوة غير الأشقاء ، وأبناء العم من الدرجة الأولى ، وأبناء أبناء العم من الدرجة الثالثة ... إلخ . ويبين شكل (٩ – ٤) تأثير الدرجات المختلفة من التربية الداخلية على سرعة الوصول إلى الاصالة الوراثية ؛ فنجد – مثلاً – أن كل ثلاثة أجيال من التلقيح الذاتى تعادل ١٠ أجيال من تلقيح الإخوة الأشقاء (التلقيح بين نبات وآخر من نسل واحد)؛ ولكن جميع الطرق تؤدى – فى نهاية الأمر – إلى الأصالة الوراثية ؛ بنسبة ١٠٠٪ ، أما شكل (٩–٥) .. فإنه يبين كيفية إجراء بعض طرق التربية الداخلية فى النباتات ، مع استعمال الذرة (وهو نبات وحيد الجنس ، وحيد المسكن) كمثال . والطرق المبينة فى الشكل هى : التلقيح الذاتى ، وتلقيح متبادل بين نباتين من نسل واحد full-sib mating ، وتلقيح جميع النباتات بحبوب لقاح مخلوطة معاً ومجموعة من نفس النباتات half-sib mating ، وتلقيح جميع النباتات بحبوب لقاح من أب رجعى backcrossing .

قوة الهجين

تحدث قوة الهجين Hybrid Vigor (Heterosis) عند تلقيح نباتات من نوع واحد ، تختلف عن بعضها وراثياً ، ويكون ارتباطها الوراثى (من حيث صلة النسب بينها) قليلاً أو معدوماً . وبرغم أن الزيادة فى قوة النمو تعد من أبرز مظاهر قوة الهجين .. إلا أن مصطلح قوة الهجين أوسع من هذا ؛ حيث يتضمن -أيضا- أية زيادة فى المحصول ، وفى صفات الجودة الاقتصادية ، ومقاومة الآفات ، والتأقلم على الظروف البيئية السائدة ... إلخ . ولايشترط لظهور قوة الهجين أن تكون آباء السلالات المستعملة فى إنتاج الهجن



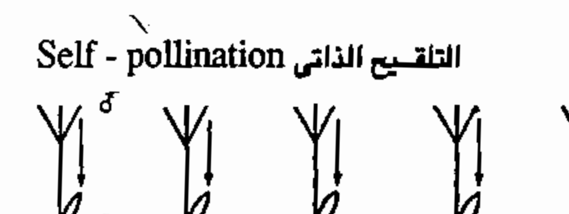
شكل (٩ – ٤) : تأثير الدرجات المختلفة من التربية الداخلية فى سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية .

ضعيفة النمو ، أو تعانى التدهور المصاحب للتربية الداخلية ؛ فهى – أى قوة الهجين – تظهر فى معظم أنواع النباتات ، بما فى ذلك النباتات الذاتية التلقيح ، والنباتات الخلطية التلقيح التى لاتضار بالتربية الداخلية . وقد وجدت قوة الهجين فى جميع النباتات التى درست فيها هذه الظاهرة .

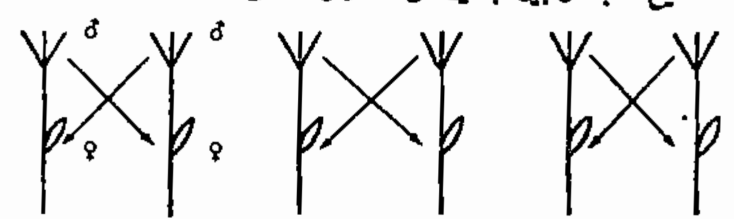
وقد قُدِّمَتْ نظريتان أساسيتان لتفسير قوة الهجين ، هما نظرية السيادة الفائقة ، ونظرية السيادة .

نظرية السيادة الفائقة

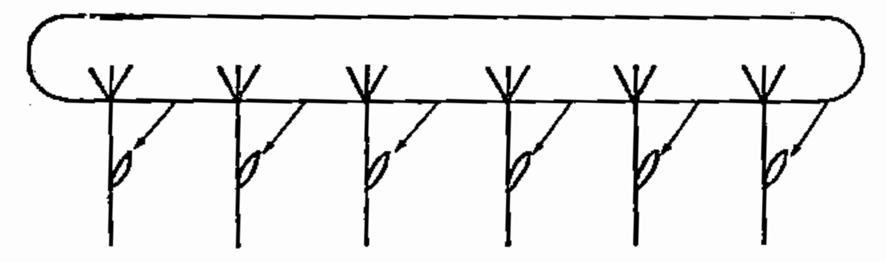
تقدم كل من Shull ، و East – على انفراد فى عام ١٩٠٨ – بنظرية السيادة الفائقة Over Dominance Hypothesis ؛ لتفسير ظاهرة قوة الهجين ، وهى تفترض أن الفرد الهجين يكون خليطاً ، وأن حالة الخلط (عدم التماثل) الوراثى تزيد من النشاط الفسيولوجى للنبات ؛ مما يؤدى إلى ظهور قوة الهجين . وتبعاً لهذه النظرية .. فإن الفرد الخليط يفوق كلاً من التركيبين الوراثيين الأصيلين . ويفترض East وجود سلسلة من الأليلات لكل جين مثل A_1 ، و A_2 ، و A_3 ... إلخ ، يزداد فيها الاختلاف بين كل أليلين ؛



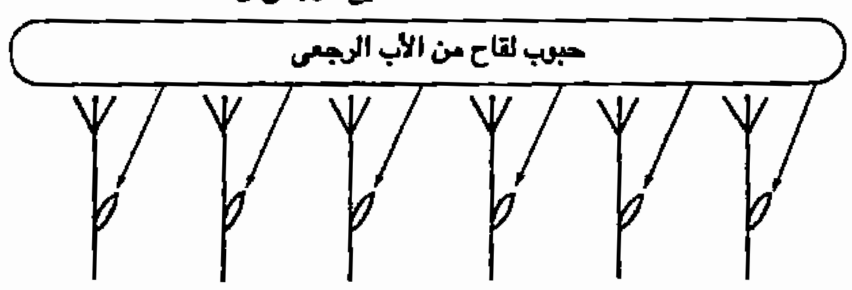
Full - Sib mating تلقيح متبادل بين نباتين من نسل واحد



Half - Sib mating تلقيح جميع النباتات بحبوب لقاح مخلوطة من نفس النباتات



Backcrossing التلقيح الرجعى



شكل (٩ – ٥) : كيفية إجراء بعض طرق التربية الداخلية فى النباتات مع استعمال الذرة كمثال (عن Fehr ١٩٨٧) .

بزيادة المسافة بينهما فى السلسلة ، وأن قوة الهجين تزداد كلما زاد الاختلاف بين الأليلين المتجمعين فى التركيب الوراثى ؛ فمثلا .. تقل قوة الهجين فى الفرد A_1A_2 عما فى الفرد A_1A_3 ، وهو الذى تقل فيه قوة الهجين كذلك عما فى الفرد A_1A_4 . .. وهكذا ؛ وهو مايعنى وجود درجات مختلفة من السيادة الفائقة ، تبعاً للأليلات التى تدخل فى التركيب الوراثى .

وقد ذُكِرتْ أربعة أسس يمكن أن تُبْنَى عليها - وتفسر بها - نظرية السيادة الفائقة ، وهى كما يلى (عن Brewbaker ١٩٦٤) .

١- التفاعل الأليلى المكمل Supplementary Allelic Interaction :

تبعا لهذا التفسير .. فإن أحد التركيبين الوراثيين الأصيلين - وليكن A_1A_1 - يكون قادراً على إنتاج المادة X ، ويكون التركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 قادراً على إنتاج المادة Y ، بينما يكون الهجين A_1A_2 قادراً على إنتاج كل من المادتين X ، وY . ومن أمثلة ذلك .. حالات المقاومة لسلالات مختلفة من بعض مسببات الأمراض ؛ مثل المقاومة للفطر المسبب لمرض الصدأ فى الكتان ، حيث تتحكم الأليلات المختلفة لبعض الجينات المسئولة عن المقاومة فى المقاومة لسلالات مختلفة من الفطر ، وبذا .. يصبح التركيب الوراثى الخليط مقاوماً لسلالتين من الفطر ، بدلاً من سلالة واحدة ، كما فى أى من التركيبين الوراثيين الأصيلين .

٢- القدرة على تمثيل المركبات الضرورية فى ظروف بيئية متباينة Alternate Synthetic Pathways :

تبعا لهذا التفسير .. فإن أحد التركيبين الوراثيين الأصيلين - وليكن A_1A_1 - يكون قادراً على إنتاج المادة الضرورية للنمو الجيد × فى ظروف بيئية معينة ، ويكون التركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 قادراً على إنتاج نفس المادة فى ظروف بيئية أخرى ، بينما يكون التركيب الوراثى الخليط A_1A_2 قادراً على إنتاج هذه المادة الضرورية للنمو فى كلتا البيئتين . ومما يدل على صحة هذا التفسير أن التباين البيئى V_E يكون أقل بكثير فى الهجن عما فى السلالات المرباة داخلياً المستعملة فى إنتاجها .

٣- القدرة على تمثيل التركيز المثالى من المركبات الـضرورية Optimum Amount Concept :

تبعاً لهذا التفسير .. فإن أحد التركيبين الوراثيين الأصيلين - وليكن A_1A_1 - يكون قادراً على إنتاج تركيز منخفض مما يلزم من مادة ضرورية × ويكون التركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 قادراً على إنتاج تركيز أعلى مما يلزم من نفس المادة ، بينما يكون التركيب الوراثى الخليط A_1A_2 قادراً على إنتاج التركيز المثالى من هذه المادة .

٤- القدرة على تمثيل المواد الهجين Synthesis of Hybrid Substances :

تبعا لهذا التفسير .. فإن أحد التركيبين الوراثيين الأصيلين - وليكن A_1A_1 يكون قادراً على إنتاج مادة ضرورية × ، ويكون التركيب الوراثى الأصيل الآخر A_2A_2 قادراً على إنتاج مادة ضرورية أخرى y ، بينما يكون الهجين A_1A_2 قادراً على إنتاج مادة أكثر تحفيزاً للنمو هى z .

نظرية السيادة

تقدم بنظرية السيادة Dominance Hypothesis ؛ لتفسير قوة الهجين كل من Bruce ، و Keeble & Pellow فى عام ١٩١٠ كل على انفراد . تفترض هذه النظرية أن النقص فى قوة النمو المصاحب للتربية الداخلية يظهر بسبب انعزال جينات متنحية ضارة بحالة أصيلة ، يظهر تأثيرها فى الأفراد الأصيلة ، فتؤدى إلى ضعف نموها ، وقلة حيويتها ، وعندما تهجن السلالات الأصيلة معاً .. فإن تأثير الجينات المتنحية الضارة يختفى تحت تأثير جينات أخرى سائدة غير ضارة ، فتظهر بذلك قوة الهجين ، ويعنى ذلك وجود درجات مختلفة من التآلف Combining Ability بين السلالات المهجنة ؛ حيث تزداد قوة الهجين كلما تجمع فى الجيل الأول الهجين أكبر عدد من الجينات السائدة . ولايتحقق ذلك إلا إذا كانت السلالات المهجنة مختلفة أصلاً فى أكبر عدد من الجينات السائدة التى توجد فى كل منها . وتزيد القدرة على التآلف بين السلالات كلما ازداد الاختلاف بينها فى هذه الجينات السائدة .

تأخذ نظرية السيادة - فى الحسبان - احتمال حدوث تفاعلات غير أليلية nonallelic

interactions يمكن أن تساعد على التغلب على مشاكل أيضية معينة ؛ فلو فرض أن كان الجينان A_1 ، و B_1 ضروريين لإتمام تفاعل حيوى معين ، فإن أياً من التركيبين الوراثيين B_2B_2 A_1A_1 ، و B_1B_1 A_2A_2 لايمكنه إكمال هذا التفاعل ، بينما يستطيع ذلك الهجين الناتج منهما ، الذى يكون تركيبه الوراثى B_1B_2 A_1A_2 . أى إن قوة الهجين تظهر – تلقائيًا – في الهجين ؛ نتيجة للتغلب على مصادر الضعف الموجودة فى السلالات الداخلة فى إنتاج هذه الهجن . وكمثال على ذلك .. وجد أن معدل نمو جذور الطماطم (الجذور المفصولة عن النباتات excised roots) فى البيئات المغذية يتوقف على التركيب الوراثى للنبات ؛ فبينما نمت جذور الطماطم البرية *Lycopersicon pimpinellifolium* فى البيئات التى أضيف إليها الفيتامين بيرودوكس Pyrodoxin .. فإن جذور صنف الطماطم جوهانسفير Johannesfeuer نمت ببطء فى البيئة المغذية ، وازداد نموها عندما زودت البيئات بالفيتامين نيكوتيناميد Nicotinamide ، ولم تتأثر بإضافة البيرودوكسن . هذا .. بينما نمت جذوز الهجين بينهما فى البيئة المغذية بصورة عادية ولم يتأثر نموها بإضافة أى من الفيتامينين ؛ ويعنى ذلك أن الهجين ظهرت فيه قوة الهجين ، التى تمثلت فى قدرة الجذور المفصولة على النمو الجيد فى البيئة الصناعية ؛ نتيجة لاحتوائه على عوامل وراثية غير أليلية ، حصل عليها من الأبوين ، وتفاعلت –معاً– لتعطى نمواً جذريًا أفضل .

وقد ظهر اعتراضان على نظرية السيادة ، أمكن الرد عليهما ، وهما كما يلى :

١– وجد أن توزيع قوة النمو –فى نباتات الجيل الثانى للجيل الأول الهجين – يكون منتظما وطبيعيًا symmetrical دائماً ، بينما المفروض –حسب نظرية السيادة– أن يميل التوزيع إلى جانب الصفة السائدة ؛ فلو فرض وجود سيادة فى خمسة مواقع جينية .. فإن التوزيع المتوقع للأشكال المظهرية فى الجيل الثانى يكون كمايلى : ٠,١٪ : ١,٥٪ : ٨,٨٪ : ٢٦,٤٪ : ٣٩,٥٪ : ٢٣,٧٪ ؛ أى يتوقع أن يكون التوزيع غير منتظم assymetrical ، وهو الأمر الذى لايمكن ملاحظته أبداً .

وقد أمكن الرد على هذا الاعتراض على أساس أن ميل التوزيع إلى جانب الصفة السائدة يقل كثيراً بفعل العوامل التالية :

أ– تأثير العوامل البيئية على الصفة .

ب- وجود حالات السيادة الجزئية .

جـ- زيادة عدد الجينات التى تؤثر فى صفة قوة الهجين ، خاصة .. صفة المحصول .

د- الارتباط بين الجينات ، خاصة .. أن كثرة عدد الجينات التى تتحكم فى قوة الهجين تعنى احتمال وجود أعداد من الجينات ترتبط - معاً - على كروموسات مختلفة . ويمنع الارتباطُ الانعزالَ الحر للجينات ، ويؤدى ارتباط جينات ذات تأثير إيجابى على قوة النمو مع جينات أخرى ذات تأثير سلبى إلى تقليل فرصة انعزال كل الجينات السائدة معاً .

٢- تبعًا لنظرية السيادة .. فإن من المفروض أن تكون بعض السلالات المرباة - داخليًا - على نفس درجة قوة نمو نباتات الجيل الأول الهجين - أو أعلى منها - إلاّ أن ذلك الأمر لم يلاحظ أبداً . وقد كان الرد على هذا الاعتراض هو صعوبة - بل استحالة - العثور على النبات ، الذى تتجمع فيه العوامل الوراثية السائدة ؛نظرا لكثرة العوامل الوراثية التى تتحكم فى صفات قوة الهجين ، خاصة .. صفة المحصول ؛ فلو أن صفة المحصول فى الذرة - مثلاً - يتحكم فيها ٣٠ جيناً - وهو تقدير معقول - للزمتْ زراعة مساحة من الذرة تعادل مساحة الكرة الأرضية ٢٠٠٠ مرة ؛ لكى يمكن العثور على نبات واحد أصيل سائد فى الجيل الثانى يتساوى فى المحصول مع الجيل الأول الهجين . كما أوضح Jones أن الارتباط بين الجينات المفيدة والجينات الضارة - والتى يكون بعضها سائدا والبعض الآخر متنحياً - يجعل من الصعب العثور على السلالة الأصيلة فى جميع العوامل الوراثية السائدة ، لما يتطلبه ذلك من حدوث عبور فى مناطق كثيرة معينة من الكروموسومات .

الأساس الفسيولوجى لقوة الهجين

رَبَطَ بعضُ الباحثين بين نشاط الميتوكوندريا وقوة الهجين ؛ فوجد - مثلاً - أن خلط الميتوكوندريا الأبوية لتسعة هجن من القمح (أى خلط ميتوكوندريا أبوى كل هجين معًا) يجعل نشاط المخلوط متوافقاً مع قوة الهجين الناتجة من تهجين الأبوين ، ولايكون نشاط المخلوط وسطا بين نشاط ميتوكوندريا كل من الأبوين على حدة ، وعليه .. فقد اقترح استخدام هذا الاختبار - وهو الذى يعرف باختبار Mitochondria Camplementation - فى التنبؤ بالتهجينات التى يمكن أن تعطى قوة هجين عالية ، إلاّ أن هذا الاختبار لم يكن ذا فائدة فى حالات أخرى ؛ حيث لم يمكن استخدامه - مثلاً - فى التنبؤ بقوة الهجين

(متمثلة فى وزن الجذور) فى بنجر السكر (Doney وآخرون ١٩٧٥) . ولمزيد من التفاصيل عن الأساس الفسيولوجى ، والكيميائى الحيوى ، والوراثى لقوة الهجين .. يراجع Sinha & Khanna(١٩٧٥) ، و Sneep & Hendrkisen(١٩٧٩) .

حساب قوة الهجين

تقدر قوة الهجين بإحدى معادلتين كما يلى :

١- تقدر قوة الهجين كنسبة مئوية من الفرق بين الجيل الأول ومتوسط الصفة فى الأبوين كما يلى :

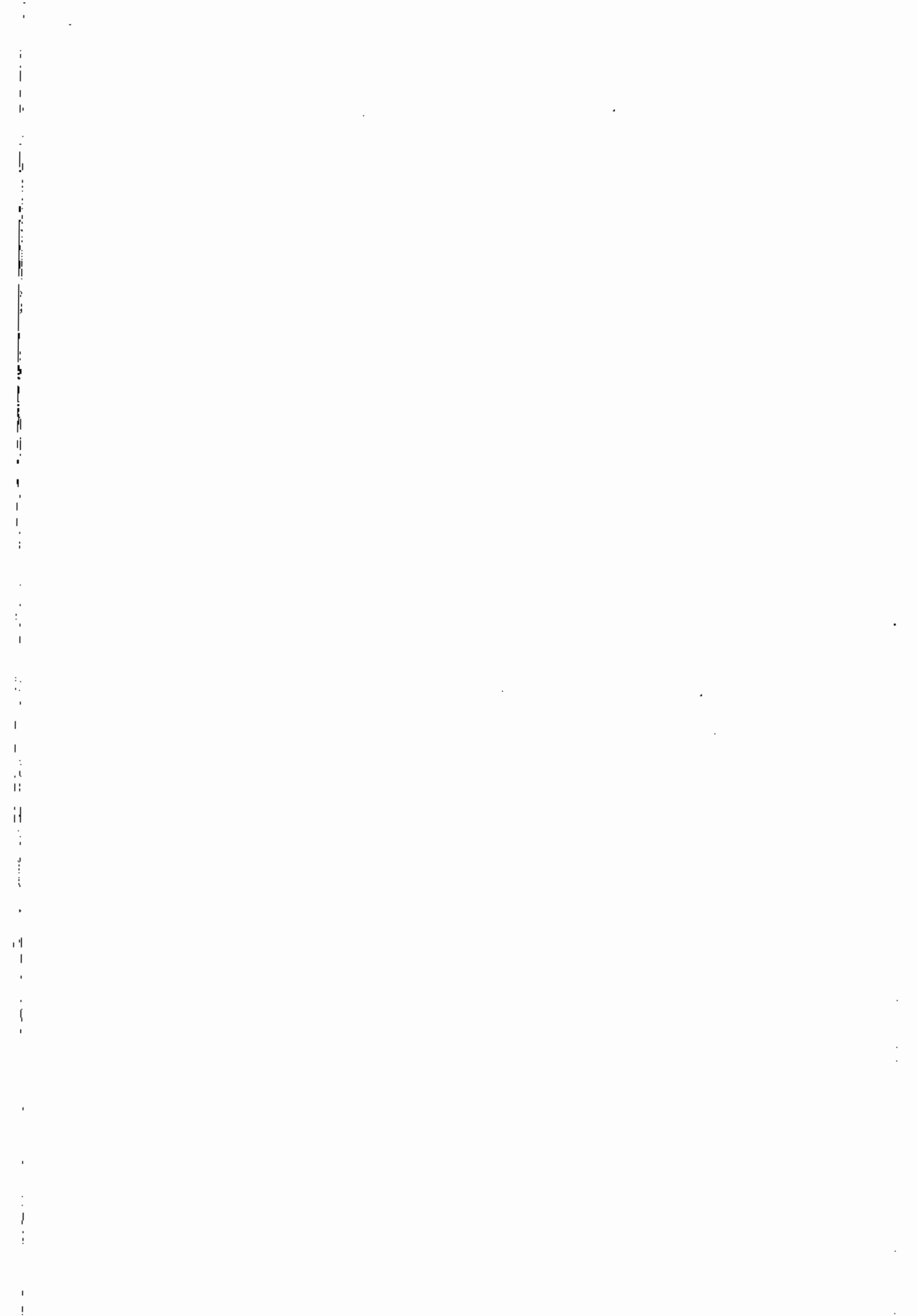
$$\text{Mid - parent Heterosis} = \frac{\bar{F}_1 - MP}{MP} \times 100$$

حيث MP هى المتوسط الحسابى للأبوين أى = $\frac{\bar{P}_2 + \bar{P}_1}{2}$

٢- تفضل - من الناحية الاقتصادية - تقدير قوة الهجين بالنسبة للأب الأعلى فى الصفة كما يلى .

$$\text{High-parent Heterosis} = \frac{\bar{F}_1 - \bar{H}P}{HP} \times 100$$

حيث HP هى متوسط الصفة فى الأب الأعلى أو الأفضل high parent فى هذه الصفة (Sinha & Khanna ١٩٧٥) .



الفصل العاشر

الأصناف الهجين والأصناف التركيبية

مقدمة عن الأصناف الهجين

يعرف الصنف الهجين Hybrid Variety بأنه الجيل الأول المستعمل فى الإنتاج التجارى ، الذى يحصل عليه : بتلقيح سلالتين خضريتين ، والإكثار الخضرى لأحد النباتات الجيدة الصفات الناتجة (فى المحاصيل الخضرية التكاثر) ، أو سلالتين مرباتين تربية داخلية (فى المحاصيل الخلطية التلقيح) ، أو سلالتين نقيتين (فى المحاصيل الذاتية التلقيح) ، أو صنفين محسنين (فى أى من العشائر التى سبق ذكرها) .

وقد حظيت التربية بطريقة إنتاج الأصناف الهجين -أكثر من غيرها- باهتمام المربين فى كافة أرجاء العالم ، وتوجد أسباب كثيرة لذلك ، سوف يأتى بيانها ، ولكن أهم هذه الأسباب - بلاشك - هو الزيادة الكبيرة التى تشاهد فى محصول هذه الأصناف ، مقارنة بالأصناف الأخرى .

وقد أجريت معظم الدراسات الأساسية الخاصة بطريقة إنتاج الأصناف الهجين على نبات الذرة ' ويرجع ذلك إلى أسباب كثيرة تتعلق بهذا المحصول ؛ منها ما يلى :

١- سهولة إجراء التلقيحات ، وكثرة كمية البذور التى تنتج من كل تلقيح .

٢- ينتج النبات الواحد كمية هائلة من حبوب اللقاح ، يمكن استخدامها فى إجراء عدة تلقيحات .

٣- الأهمية الاقتصادية الكبيرة لمحصول الذرة .

٤- الزيادة الكبيرة فى المحصول التى تنتج من استعمال الأصناف الهجين ، والتى قدرت فى الولايات المتحدة بأكثر من الضعف .

وقد أدى النجاح الكبير -الذى لقيته الأصناف الهجين فى الذرة - إلى انتشارها فى محاصيل أخرى كثيرة ؛ منها معظم محاصيل الخضر . ويعتقد Craig (١٩٦٨) أن إنتاج الأصناف الهجين فى معظم محاصيل الخضر الجنسية التكاثر يعد من أهم التطورات الحديثة فى تربية المحاصيل البستانية . وربما كانت بداية ذلك محاولات Hayes & Jones لإنتاج الجيل الأول الهجين فى الخيار فى عام ١٩١٦ ، ثم كان اقتراح Pearson عام ١٩٣٢ بالاستفادة من ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى إنتاج هجن الصليبيات . وتلا ذلك .. قيام Jones & Clarke فى عام ١٩٤٣ بوصف الطريقة العملية لإنتاج هجن البصل ؛ بالاستفادة من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى . وقد اختلفت محاصيل الخضر بالنسبة للفترة التى استخدمت فيها الأصناف الهجين فى الزراعة التجارية كما يلى (عن Riggs ١٩٨٨) :

المحصول	فترة وجود الأصناف الهجين فى الزراعة التجارية (بالسنة)	المحصول	فترة وجود الأصناف الهجين فى الزراعة التجارية (بالسنة)
الذرة السكرية	٤٥ - ٥٥	السبانخ	٢٥ - ٣٥
البصل	٤٥ - ٥٥	البروكولى	٢٥ - ٣٠
الطماطم	٤٥ - ٥٥	الكرنب الصينى	٢٥ - ٣٠
الكوسة	٤٥ - ٥٥	الباذنجان	٢٠ - ٢٥
الكرنب	٤٠ - ٥٠	كرنب بروكسل	٢٠ - ٢٥
الخيار	٣٥ - ٤٥	الفجل الصينى	١٥ - ٢٥
البطيخ	٣٥ - ٤٠	الجزر	١٥ - ٢٥
القاوون	٣٥ - ٤٠	بنجر المائدة	١٠ - ١٣
الهليون	٣٥ - ٤٠	الكرفس	١٠ - ١٣
الفلفل	٣٠ - ٣٥		

العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة و مفضلة

من أهم العوامل التى تجعل الأصناف الهجين مرغوبة ومفضلة عن الأصناف الأخرى مايلى :

١- تتميز الأصناف الهجين بالتجانس مع قوة النمو ، وتلك صفتان لايمكن الحصول عليهما مجتمعتين بأية طريقة أخرى من طرق التربية ؛ فالسلالات المتجانسة المرباة تربية داخلية تكون ضعيفة النمو ، بنيما تكون الأصناف المفتوحة التلقيح القوية النمو غير متجانسة ، وتكون الأصناف التركيبية أقل تجانساً ، وأقل فى قوة النمو .

٢- الزيادة الكبيرة فى محصول الأصناف الهجين ، وهى أحد مظاهر قوة الهجين التى تتضمن - أيضًا - كل صفات الجودة ، والمقاومة للآفات ، والقدرة على تحمل الظروف البيئة القاسية ... إلخ .

٣- مرونة برنامج التربية بالتهجين ، مقارنة بالطرق الأخرى ؛ حيث يمكن للمربى جمع الصفات المرغوب فيها فى الهجن المنتجة ، بالاختيار الدقيق للآباء .

٤- لايمكن الحصول على بعض الصفات المرغوب فيها إلا فى الأصناف الهجين ، كما فى البطيخ العديم البذور (يراجع لذلك .. الفصل الخاص بالتضاعف) ، والبيتونيا المزدوجة.

٥- يعد إنتاج الأصناف الهجين أفضل الطرق لحفظ حقوق المربى ، وربما كان ذلك من أهم الأسباب التى دفعت شركات البذور إلى التوسع فى إنتاج الأصناف الهجين ، حيث تستطيع السيطرة على إنتاجها ؛ لاحتفاظها بسرية آباء الهجن .

يلاحظ أن قسطًا كبيراً من المزايا المذكورة آنفاً يعود على المربى وشركات البذور التى تقوم بإنتاج الهجن . كما يستفيد منتج المحصول فى الدول المتقدمة -التى تشيع فيها الميكنة الزراعية- من صفة التجانس فى النمو ، وموعد النضج . غير أن ذلك لايكون ضروريًا فى الدول النامية ، التى تجرى فيها معظم العمليات الزراعية يدويًا ، كما لايكون التجانس فى موعد النضج أمرا مرغوبًا فيه فى تلك الدول ؛ حيث تكون معظم الأسواق محلية ، وحيث لاتتوفر وسائل لحفظ المحصول وتخزينه بشكل جيد ؛ فإذا أضفنا إلى ذلك الارتفاع الكبير فى أسعار بذور الهجن .. فإن هذا يعنى زيادة تكلفة الإنتاج بقدر ربما لايتناسب مع مستويات المعيشة فى بعض الدول النامية . ولهذه الأسباب .. يرى Riggs

(١٩٨٨) أن استعمال هجن الخضر ربما لايكون ضرورياً أو مرغوباً فيه فى الدول النامية . وعلى أية حال .. فإن الجوانب الاقتصادية للعملية الإنتاجية هى التى تحكم هذا الأمر فى نهاية المطاف .

العوامل المؤثرة فى أسعار الهجن

ترتفع أسعار هجن بعض المحاصيل بدرجة كبيرة ؛ حيث تصل - مثلا - إلى ٢٠ - ٣٠ دولاراً أمريكياً للجرام الواحد من بذور البتونيا ، و ٨٠٠٠ دولار لكل كيلو جرام من بذور بعض هجن الطماطم ، والخيار الأنثوى ، التى تستعمل فى الزراعات المحمية . وتبلغ أسعار الهجن نحو ٢٠ مثل سعر الأصناف العادية فى القاوون ، و١٢ مثل السعر فى البطيخ والفلفل ، ونحو ١٠ أمثال السعر فى البروكولى ، وخمسة أمثال السعر فى الطماطم ، والجزر ، والباذنجان ، والكرنب ، واللفت . هذا .. بينما لايزيد سعر الهجن على ضعف سعر الأصناف العادية فى البصل ، والسبانخ ، ويقترب سعر الأصناف الهجين مع الأصناف المفتوحة التلقيح فى الذرة السكرية .

وترجع الزيادة فى تكلفة إنتاج الأصناف الهجين إلى الأسباب التالية :

١- تكاليف برنامج التربية لإنتاج السلالات المرباة داخلياً ، واختبار قدرتها على التآلف .

٢- تكاليف إكثار سلالات الآباء .

٣- تكلفة زراعة نسبة من الحقل الإنتاجى بالسلالة المستخدمة كأب ، فى حين تحصد البذرة الهجين من السلالة المستخدمة كأم فقط .

٤- تكلفة الرعاية الخاصة التى تعطى حقول إنتاج البذرة الهجين فى العزل ، والزراعة ، والحصاد .

٥- تكاليف عمليتى الخصى والتلقيح (George ١٩٨٥) .

ومن أهم العوامل التى تقلل من تكاليف إنتاج البذرة الهجين واستعمالها فى الزراعة التجارية ما يلى :

١- توفر الظواهر التى تجعل من غير الضرورى خصى الأزهار فى السلالات المستعملة كأمهات فى الهجن ؛ مثل العقم الذكرى ، وعدم التوافق ، وانفصال الجنس .

٢- عندما ينتج من التلقيح الواحد عدد كبير من البذور .

٣- عندما تقل كمية التقاوى التى تلزم لزراعة وحدة المساحة .

طريقة إنتاج السلالات المرباة تربية داخلية

قد ينتج الصنف الهجين فى المحاصيل الخلطية التلقيح بالتهجين بين صنفين محسنين . تُعْطِى بعض هذه الهجن محصولاً أعلى من محصول أى من أبوى الهجين ، إلا أن الأغلب هو استعمال السلالات المرباة تربية داخلية Inbred Lines كآباء لهجن المحاصيل الخلطية التلقيح . وتنتج هذه السلالات بالتلقيح الذاتى المستمر لنباتات أحد الأصناف الهجين ، أو أحد الأصناف المفتوحة التلقيح open-pollinated . ويستمر التلقيح الذاتى لخمسة أجيال أو سبعة ، ويعد ذلك كافيًا لجعل السلالات تامة التجانس وأصيلة وراثيًا . وقد يستمر التلقيح الذاتى لعدد آخر من الأجيال ؛ للتخلص من الاختلافات البسيطة ، التى قد تظهر بين نباتات السلالة . ويحافظ على السلالات - بعد ذلك - بجمع حبوب لقاح كل سلالة معًا ، واستعمالها فى تلقيح نباتات نفس السلالة .

يلزم - أولا - انتخاب النباتات التى ستجرى عليها التربية الداخلية . توازى هذه الخطوة جيلاً واحداً من الانتخاب الإجمالى ، ويمكن تقدير أهميتها بتذكر مدى الجهد الذى سيبذل فى التربية الداخلية لهذه النباتات .

يجرى الانتخاب العينى Visual Selection فى أثناء التربية الداخلية على أساس المظهر العام ؛ للتخلص من السلالات التى تظهر بها عيوب واضحة ، وتنتخب النباتات التى تتميز بقوة النمو ، والصفات المهمة ؛ مثل موعد النضج ، وطول النبات ، ومتانة الساق ، وصفات الجودة ، والمقاومة للأمراض ... إلخ ؛ كما تعطى بعض الأهمية للقدرة الإنتاجية ؛ نظراً لأن السلالات العالية المحصول تعطى كمية كبيرة من بذور التقاوى - عند استعمالها كآباء فى الهجن - وهو ما يخفض من تكاليف إنتاج الهجن . يزرع - عادة - من ٢٠-٣٠ بذرة من كل نبات منتخب فى خط مستقل ، مع توسيع مسافة الزراعة - قليلاً - حتى يمكن دراسة كل نبات على حدة . وتنتخب - سنويًا - أفضل النباتات فى أفضل الأنسال (أفضل الخطوط) ، وهى التى تستمر فيها التربية الداخلية .

يؤدى استمرار التربية الداخلية إلى ازدياد التجانس فى نسل النباتات المنتخبة المُلقحة

ذاتيًا (progeny lines) ، ويفقد عدد من السلالات ؛ بسبب التدهور الشديد الذى يحدث لها نتيجة للتربية الداخلية ، وتستبعد سلالات أخرى لمظهرها غير المقبول . وبعد نحو ٥-٧ أجيال من التلقيح الذاتى .. تكون نباتات كل سلالة على درجة عالية من التجانس ، بينما تختلف السلالات -كثيراً- عن بعضها البعض .

أهمية الانتخاب بالنظر خلال مراحل التربية الداخلية

رغم اختلاف نتائج الدراسات بشأن أهمية الانتخاب بالنظر Visual Selection ، الذى يعتمد على الملاحظة والتقدير الشخصى للمربى .. إلا أنه يسود الاعتقاد بأنه يؤدى إلى استبعاد عديد من السلالات غير المرغوب فيها خلال مراحل التربية الداخلية . ويجرى الانتخاب بالنظر على ثلاث مراحل ، هى :

١- انتخاب النباتات التى تبدأ فيها التربية الداخلية من الصنف المفتوح التلقيح ، وهى خطوة تعادل جيلاً واحداً من الانتخاب الإجمالى . وتكون لهذه الخطوة أهميتها بالنسبة للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة ، وربما بالنسبة للمحصول أيضًا .

٢- استمرار الانتخاب خلال مراحل التربية الداخلية ، حتى إنتاج السلالات المرباة داخليًا .

٣- انتخاب السلالات التى تستعمل فى إنتاج الهجن .

ورغم أهمية الانتخاب فى المرحلتين : الأولى والثانية .. فإنه لايهم إلا بقدر يسير فى تحسين محصول الهجن المنتجة . فدورة واحدة من الانتخاب الإجمالى .. لاتؤثر كثيراً فى المحصول ، والانتخاب -خلال مراحل التربية الداخلية- لايفيد سوى فى استبعاد السلالات الضعيفة ؛ وعليه .. فإن الزيادة الكبيرة التى تعطى فى محصول الصنف الهجين .. لابد أنها ترجع إلى الانتخاب فى المرحلة الثالثة .

القدرة على التآلف بين السلالات المرباة داخليًا

تتوقف قوة الهجين - التى تظهر فى الجيل الأول الهجين - على مدى قدرة السلالات المهجنة على التآلف Gombining Ability of Inbred Lines ؛ حيث تزداد قوة الهجين كلما كانت السلالات المهجنة أكثر تآلفًا ؛ أى كلما كانت تراكيبها الوراثية مكملة بعضها

بعضاً ، وأكثر تأثيراً فى قوة الهجين عند تواجدها - معًا - فى الفرد الهجين . وتوجد ثلاثة أنواع من القدرة على التآلف ، هى : متوسط القدرة على التآلف ، والقدرة العامة على التآلف ، والقدرة الخاصة على التآلف .

متوسط القدرة على التآلف

يعبر عن متوسط القدرة على التآلف Average Combining Ability لأية سلالة بمتوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها هذه السلالة ؛ فمثلاً .. إذا وجدت خمس سلالات هى أ ، ب ، جـ ، د ، هـ .. فإن متوسط قدرة السلالة (أ) على التآلف يكون هو متوسط محصول الهجن الفردية أ ب ، أ جـ ، أ د ، أ هـ .

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كانت تختبر كل الهجن الممكنة لكل سلالة؛ لتقدير متوسط قدرة كل منها على التآلف ، وكان ذلك يتطلب جهداً كبيراً ؛ فعلى سبيل المثال .. لو أن لدينا ٣٠ سلالة فقط لتقييم قدرتها على التآلف -وهو رقم متواضع- لكان عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها (مع استبعاد الهجن العكسية) هو ٤٣٥ هجيناً . ويمكن حساب هذا العدد من المعادلة التالية :

$$هـ = \frac{س (س-١)}{٢}$$

حيث تمثل (هـ) عدد الهجن الفردية الممكنة ، و (س) عدد السلالات المطلوب تقييمها . ومن الطبيعى أنه يستحيل تقييم عدد كبير من السلالات بهذه الطريقة ؛ فلو فرض أن احتاج الأمر إلى تقييم ١٠٠ سلالة .. للزم إنتاج ٤٩٥٠ هجينًا فرديًا وتقييمها . هذا فضلا على أن التقييم قد يجرى فى مناطق مختلفة ، ولعدة سنوات .

القدرة العامة على التآلف

تقارن القدرة العامة على التآلف General Combining Ability - لعدد من السلالات - بمقارنة الهجن الفردية الناتجة من تلقيح كل من هذه السلالات مع صنف اختبارى Tester Variety . ويستعمل أى صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح ، أو هجين زوجى ، أو صنف تركيبى كصنف اختبارى . تنتج الهجن بين السلالات المرباة داخليًا

والصنف الاختبارى ؛ بواسطة ما يسمى بالتلقيح القمى Top Cross ؛ حيث تزرع ٣ - ٤ خطوط - بمعدل خط من كل سلالة - بالتبادل مع خط من الصنف الاختبارى ، وتزال النورات المذكرة (بفرض استعمال الذرة كمثال) من جميع السلالات ؛ حتى يكون الصنف الاختبارى هو مصدر حبوب اللقاح لجميع الهجن . أما إذا استعمل الصنف الاختبارى كأم .. فإنه يلزم - فى هذه الحالة - استعمال عشرة نباتات منه -على الأقل- فى التلقيح مع كل سلالة ؛ لتمثيل أكبر قدر من الاختلافات الوراثية التى توجد بين نباتاته .

وترجع أهمية القدرة العامة على التآلف إلى أنها تستخدم فى التنبؤ بمتوسط القدرة على التآلف ؛ لأن معامل الارتباط بينهما كبير؛ حيث يقدر بنحو ٠,٥٣-٠,٩٠ ، وهو مايعنى وجود علاقة مؤكدة بين محصول الهجن الناتجة من التلقيح القمى لعدد من السلالات ، وبين متوسط محصول الهجن الفردية التى تدخل فيها كل من هذه السلالات عند تهجينها مع بعضها البعض . ويتفق معظم مربى النبات على أنه يمكن استخدام تقديرات القدرة العامة على التآلف بأمان فى استبعاد نصف السلالات المتوفرة التى يُراد تقييمها ، وقصر إنتاج الهجن الفردية وتقييمها على النصف الآخر المتبقى ؛ فمثلا.. لو كان لدينا ٣٠ سلالة .. فإنه يلزم إنتاج ٣٠ هجيناً وتقييمها بالتلقيح القمى ، ثم يستفاد من نتيجة التقييم فى استبعاد ١٥ سلالة ؛ وهو مايعنى خفض عدد الهجن الفردية التى يلزم إنتاجها وتقييمها من ٤٣٥ هجيناً إلى ١٠٥ هجيناً فقط .

وأفضل الأصناف الاختبارية للاستعمال هى التى يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الفردية للسلالات المتوفرة . لكن لايوجد صنف اختبارى واحد يصلح لجميع الأغراض . فكما سبق الذكر .. تصلح الهجن الزوجية والأصناف المفتوحة التلقيح الناجحة -خاصة الأصناف التركيبية- لاختبار القدرة العامة على التآلف ؛ لأنه يلزم أن يكون الصنف الاختبارى ذا قاعدة وراثية عريضة Broad Genetic Base . أما عندما يُراد البحث عن سلالة تصلح بديلاً لسلالة أخرى فى هجين زوجى معين .. فإن أفضل صنف اختبارى لهذا الغرض يكون هو الهجين الفردى الآخر (الذى لاتستعمل هذه السلالة فى إنتاجه) فى الهجين الزوجى ؛ فمثلا .. إذا ما رغب فى البحث عن سلالة بديلة لسلالة (أ) فى الهجين الزوجى أ ب × جـ د .. فإن الصنف الاختبارى المناسب يكون هو الهجين الفردى جـ د .

وفى بداية العهد بإنتاج الأصناف الهجين .. كان يتم اختبار القدرة العامة على التآلف بعد ٣-٥ أجيال من التربية الداخلية . وكان Jenkins فى عام ١٩٣٥ هو أول من بيّن أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة يكون فعّالاً بعد الجيل الثانى للتربية الداخلية ؛ فقد وجد أنه من بين ١١ سلالة أجريت عليها الدراسة .. لم يختلف محصول التلقيح القمى لتسع من هذه السلالات ، عندما أجرى بعد جيلين ، أو بعد ستة -أو ثمانية- أجيال من التلقيح الذاتى . كما وجد Sprague فى عام ١٩٤٦ أن النباتات التى لم تلقح ذاتيًا بعد (نباتات جيل الـ S_0) ذات القدرة العالية على التآلف .. تنقل هذه الصفة إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) . كذلك وجد Lonnquist فى عام ١٩٥٠ أن نباتات جيل التلقيح الذاتى الأول تنقل صفة القدرة العالية على التآلف -بنفس الدرجة- إلى نباتات جيل التلقيح الذاتى الرابع .

وبرغم أن Richey قدأوضح عام ١٩٤٥ أن الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف فى الذرة ، والانتخاب لهذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الثانى (S_2) أو الثالث (S_3) .. يؤدى إلى استبعاد بعض السلالات الهامة .. إلا أن الاتجاه الغالب - الآن - هو تقدير هذه الصفة فى جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) أو الثانى (S_2) ، كما يقوم البعض بتقديرها فى النباتات المنتخبة ؛ لإجراء التربية الداخلية عليها (S_0) . ويستفاد من هذه الاختبارات المبكرة للقدرة العامة على التآلف فى استبعاد مايصل إلى ٨٠٪ من النباتات ، التى يلزم إجراء التربية الداخلية عليها .

ومما يعزز أهمية الاختبار المبكر للقدرة العامة على التآلف .. أن الدراسات المستفيضة قد أوضحت وجود اختلافات حقيقية بين نباتات الـ S_1 وبعضها البعض ، وكذلك بين نباتات الـ S_0 وبعضها البعض ؛ من حيث قدرتها العامة على التآلف ، وأن هذه الاختلافات يمكن معرفتها ، برغم المشاكل الناجمة عن حالة الخلط الوراثى فى هذه النباتات ، وأنها تورث من جيل لآخر مع استمرار التربية الداخلية .

القدرة الخاصة على التآلف

يقصد بالقدرة الخاصة على التآلف Specific Combining Ability قدرة السلالات على التآلف مع السلالات الأخرى فى الهجن الفردية Single Crosses ، والهجن الثلاثية

، Three-way Crosses والهجن الزوجية (الرباعية) Double Crosses . ويعبر عن هذه القدرة بقوة الهجين التى تظهر فى الهجن .

تقدر القدرة الخاصة على التآلف فى الهجن الفردية بإجراء الاختبار القمى أولا ؛ لاستبعاد ٥٠٪ من السلالات ، وهى التى تكون أقل فى القدرة العامة على التآلف ، ثم تجرى كل التلقيحات الممكنة بين السلالات المتبقية ؛ لتحديد أفضل الهجن الفردية لكل سلالة .

ويلزم لتقدير القدرة الخاصة على التآلف فى الهجن الزوجية أن تهجن كل الهجن الفردية معًا بكل الطرق الممكنة . فلو فرض وتبقى ١٥ سلالة بعد الاختبار القمى .. فإنه يلزم – أولا – إجراء $\frac{١٥ \times ١٤}{٢}$ = ١٠٥ هجينًا فردياً ، ثم تهجن الهجن الفردية – معًا – بكل الطرق الممكنة لإنتاج الهجن الزوجية ، التى يتحدد عددها بالمعادلة التالية :

$$\text{عدد الهجن الزوجية الممكنة} = \frac{\text{س}(\text{س} - ١)(\text{س} - ٢)(\text{س} - ٣)}{٨}$$

حيث (س) تمثل عدد السلالات المرباة داخليًا ؛ ويعنى ذلك أن عدد الهجن الزوجية الممكنة يكون $\frac{١٥ \times ١٤ \times ١٣ \times ١٢}{٨}$ = ٤٠٩٥ هجينا زوجيًا ، بخلاف الهجن العكسية .

ونظراً لأن عدد الهجن الزوجية التى يلزم إنتاجها وتقييمها يكون كبيراً ، ويزداد – كثيراً – مع أى زيادة فى عدد السلالات (فهو يصبح – مثلاً – ١٤٥٣٥ هجيناً زوجيًا عند زيادة عدد السلالات إلى ٢٠) ؛ لذا فقد حاول العلماء التوصل إلى وسائل ، يمكن بواسطتها التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية قبل إجرائها ، وكانت دراسات Jenkins فى عام ١٩٣٤ من أبرز ما قدم فى هذا المجال . ولقد قام Jenkins بدراسة الارتباط بين محصول الهجن الزوجية وبين متوسط محصول كل مما يلى :

١– الهجن الستة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى ؛ فمثلا .. تكون الهجن الستة الفردية الممكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى :
أ ب ، أ جـ ، أ د ، ب جـ ، ب د ، جـ د .

٢– الهجن الأربعة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير

الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى ؛ فمثلا .. تكون الهجن الأربعة الفردية الممكنة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى : أ جـ ، أ د ، ب جـ ، ب د .

٣- كل الهجن الفردية الممكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين عشر سلالات أخرى ؛ فمثلا .. تكون الهجن اللازمة فى حالة الهجين الزوجى أ ب × جـ د هى التى بين كل من السلالات أ ، ب ، جـ ، د وعشر سلالات أخرى ؛ أى يؤخذ متوسط ٤٠ هجينا فرديًا .

٤- الهجن الفردية الممكنة بين كل من السلالات الأربع الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى وبين صنف اختبارى ؛ أى يؤخذ متوسط أربعة هجن فردية .

وقد قدر Jenkins الارتباط بين المحصول الفعلى والمحصول المتوقع لاثنين وأربعين هجينًا زوجيًا باستعمال الطرق الأربع السابقة ، ووجد أن معامل الارتباط كان ٠,٧٥ ، و٠,٧٦ ، و٠,٧٣ ، و٠,٦١ للطرق الأربع على التوالى .

وبناء على نتائج هذه الدراسة ودراسات أخرى كثيرة .. فقد أصبح عاديًا أن يتنبأ المربى بمحصول الهجن الزوجية من متوسط محصول الهجن الأربعة الفردية الممكنة بين السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى غير الهجينين الفرديين المهجنين معًا لإنتاج الهجين الزوجى . ويكفى – فى هذه الحالة – إنتاج وتقييم كل الهجن الفردية الممكنة بين السلالات المتوفرة ؛ للتنبؤ بمحصول أى هجين زوجى بين هذه الهجن الفردية . ولكن ينبغى أن تقيم الهجن الفردية فى عدة مواقع ، وعلى مدى عدة سنوات ؛ ليمكن التوصل إلى نتائج يمكن الاعتماد عليها . ويبين جدول (١٠-١) مثالاً لتطبيق القاعدة السابقة فى التنبؤ بمحصول الهجن الزوجية الممكنة بين خمس سلالات من الذرة (Anderson عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

طرق تحسين السلالات المرباة داخليًا

يتجه كثير من الباحثين نحو محاولة تحسين السلالات المتوفرة المرباة داخليًا ، التى أثبتت قدرة عالية على التآلف ، بدلاً من محاولة إنتاج سلالات جديدة ؛ بسبب ندرة السلالات الممتازة ، وصعوبة إنتاج ما هو أفضل منها . وتبعًا لـ T.A. Kiesselbach (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .. فإن عدد سلالات الذرة المرباة داخليًا التى أنتجت حتى

جدول (١٠-١) : المحصول الحقيقي المتحصل عليه من الهجن الفردية والزوجية لخمس سلالات مرباة تربية داخلية من الذرة (هي أرقام ٢٣ ، و ٢٤ ، و ٢٦ ، و ٢٧ ، و ٢٨) والمحصول المتوقع للهجن الزوجية بينها .

الهجين الفردي أو الزوجي	المحصول (بوشل/فدان) الحقيقي	المحصول (بوشل/فدان) المتوقع	الهجين الفردي أو الزوجي	المحصول (بوشل/فدان) الحقيقي	المحصول (بوشل/فدان) المتوقع
الهجن الفردية					
٢٣ × ٢٤	٤١,٧		٢٤ × ٢٧	٧٢,١	
٢٣ × ٢٦	٦٢,٦		٢٤ × ٢٨	٦٩,٣	
٢٣ × ٢٧	٧٠,٨		٢٦ × ٢٧	٦٤,٢	
٢٣ × ٢٨	٦٤,٤		٢٦ × ٢٨	٦٠,٤	
٢٤ × ٢٦	٦٥,٦		٢٧ × ٢٨	٥٩,٦	
الهجن الزوجية					
السلالات ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٦ ، ٢٧ :			السلالات ٢٣ ، ٢٦ ، ٢٧ ، ٢٨ :		
(٢٣ × ٢٤) (٢٦ × ٢٧)	٦٨,٨	٦٧,٨	(٢٣ × ٢٦) (٢٧ × ٢٨)	٦٨,٢	٦٥,٠
(٢٣ × ٢٦) (٢٤ × ٢٧)	٦٢,٤	٦٠,٦	(٢٣ × ٢٧) (٢٦ × ٢٨)	٦٥,٠	٦٢,٧
(٢٣ × ٢٧) (٢٤ × ٢٦)	٦٢,٠	٦٠,٢	(٢٣ × ٢٨) (٢٦ × ٢٧)	٦٥,٧	٦٣,٤
السلالات ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٦ ، ٢٨ :					
(٢٣ × ٢٤) (٢٦ × ٢٨)	٦٥,٠	٦٥,٥	(٢٤ × ٢٦) (٢٧ × ٢٨)	٧٠,٢	٦٦,٥
(٢٣ × ٢٦) (٢٤ × ٢٨)	٥٩,٨	٥٨,٠	(٢٤ × ٢٧) (٢٦ × ٢٨)	٦٢,٠	٤٧,٧
(٢٣ × ٢٨) (٢٤ × ٢٦)	٥٦,٠	٥٨,٥	(٢٤ × ٢٨) (٢٦ × ٢٧)	٦٢,٧	٦٤,٤
السلالات ٢٣ ، ٢٤ ، ٢٧ ، ٢٨ :					
(٢٣ × ٢٤) (٢٧ × ٢٨)	٧١,١	٦٩,٢			
(٢٣ × ٢٧) (٢٤ × ٢٨)	٥٨,١	٥٩,٤			
(٢٣ × ٢٨) (٢٤ × ٢٧)	٥٨,٠	٦٠,٤			

عام ١٩٥١ قدر بنحو ١٠٠ ألف سلالة ، ولم يتفوق منها سوى ٦٠ سلالة ، وهى التى كان لها دور فى إنتاج أصناف الذرة الهجين . ويحاول المربون تحسين هذه السلالات فى الجوانب التالية :

١- زيادة إنتاجية السلالات ذاتها ؛ بغرض زيادة كمية البذرة الهجين من نفس التلقيح؛ فتنخفض بذلك تكاليف إنتاجها .

٢- تحسين السلالات فى صفات خاصة تعوزها ؛ مثل مقاومة الأمراض الهامة .

٣- تحسين قدرة السلالات على التآلف ؛ وهو ما يعنى زيادة قوة الهجين فى الهجن التى تدخل فيها

هذا .. وتعامل السلالات المرباة تربية داخلية معاملة النباتات الذاتية التلقيح عند تحسينها؛ ذلك لأنها تكثر بالتلقيح الذاتى ، كما أن نباتات كل سلالة تكون متجانسة homogenous ، وأصيلة وراثيا homozygous ؛ مثلها فى ذلك مثل العشائر المُحَسَّنة الثابتة وراثياً من المحاصيل الذاتية التلقيح . ومن أهم الطرق المستخدمة فى تحسين السلالات المرباة داخليًا ما يلى :

١- طريقة انتخاب النسب :

تجرى التربية بتتبع النسل الناتج من هجين فردى ناجح بين سلالتين مرباتين تربية داخلية ، وإجراء الانتخاب مع استمرار التربية الداخلية للنباتات المنتخبة جيلاً بعد جيل (تراجع التربية بطريقة انتخاب النسب فى الفصل الحادى عشر) .

٢- طريقة التهجين الرجعى :

تعد تلك أنسب طرق التربية عند الرغبة فى تحسين السلالات المرباة داخليًا فى صفات معينة ؛ مثل صفة العقم الذكرى (لاستعمالها كأمهات فى الهجن) ، والمقاومة للأمراض الهامة (تراجع التربية بطريقة التهجين الرجعى فى الفصل الثانى عشر) .

٣- طريقة التحسين التجمعى Convergent Improvement :

اقترح Richey هذه الطريقة فى عام ١٩٢٧ ، وتجرى بتلقيح أحد الهجن الفردية الناجحة رجعيًا إلى كل من أبويه على انفراد ؛ فيلقح الهجين أ ب - مثلا - رجعيًا مع كل

من السلالتين (أ) ، و (ب) مع الانتخاب للصفات المهمة ؛ مثل قوة النمو والمقاومة للأمراض ؛ وبذا .. تحسن كلتا السلالتين .

٤- طريقة انتخاب الجاميطات Gametc Selection :

اقترح Stadler هذه الطريقة في عام ١٩٤٤ ، وتجرى بتلقيح سلالة جيدة بحبوب لقاح أحد الأصناف الناجحة المفتوحة التلقيح . وتختلف النباتات التي تنتج من هذا التلقيح عن بعضها البعض - وراثيًا - بدرجة كبيرة . يُلقَّح كل نبات منها - ذاتيًا - كما يلقح أيضًا مع صنف اختباري . ويُحْتَفَظُ بالبذور الناتجة من التلقيح الذاتي لحين تقييم البذور الناتجة من التلقيح الاختباري . ويعني تفوق نسل أي تلقيح اختباري أن النبات الذي استخدم في هذا التلقيح كان قد تلقى جينات مرغوباً فيها من الصنف المفتوح التلقيح ، الذي كان قد لُقح مع السلالة المراد تحسينها . وتزرع البذور الناتجة من التلقيح الذاتي لهذه النباتات في الموسم التالي لبدء برنامج جديد من التربية الداخلية عليها . وترجع أهمية هذه الطريقة - كما بين Stadler - إلى أنه إذا وجدت التراكيب الوراثية المرغوب فيها في الصنف المفتوح التلقيح بنسبة q^2 .. فإنها توجد في جاميطات هذا الصنف بنسبة q ، وهي أعلى بكثير (يراجع لذلك قانون هاردي - فينبرج في الفصل الثالث) .

إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية

نظراً لأن إنتاج السلالات الأصيلة المرباة داخليًا يتطلب جهداً كبيراً ، ويستغرق عدة سنوات ؛ لذا .. فقد اتجه تفكير بعض الباحثين نحو محاولة استخدام النباتات الأحادية (١ن) في إنتاج نباتات ثنائية أصيلة (٢ ن) ؛ بمضاعفتها بالكولشيسين . وكان Chase - في عام ١٩٤٩ - هو أول من نادى بهذه الطريقة وطبقها في الذرة ، وهو محصول تظهر فيه النباتات الأحادية طبيعيًا بطريقة التوالد البكري parthenogensis بمعدل ٠,١٪ . ويمكن معرفة النباتات الأحادية بسهولة إذا مازرعت نباتات أحد الأصناف المرغوب فيها المفتوحة التلقيح بالتبادل مع صنف آخر به جين سائد مُعلِم marker gene ، لايوجد في الصنف المفتوح التلقيح . وتُزال جميع النورات المذكرة من الصنف المفتوح التلقيح ؛ لكي يُلقَّح بالصنف الآخر ، ثم تحصد بذوره ، وتزرع؛ وبذا .. يمكن معرفة النباتات الأحادية الناتجة بطريق التوالد البكري ، وهي التي لاتكون حاملة للصفة السائدة . وقد استخدم Chase لذلك صفة لون النبات القرمزي ، وهي صفة سائدة تظهر في طور البادرة .

ويمكن مضاعفة النباتات الأحادية بسهولة بالكولشيسين (يراجع لذلك الفصل الثالث عشر) ؛ لإنتاج نباتات ثنائية أصيلة . كما أن نباتات الذرة الأحادية تميل بطبيعتها للارتداد إلى الحالة الثنائية ، لدرجة أن ١٠٪ من النباتات الأحادية غالبا ماتنتج بذوراً ثنائية عند تلقيحها ذاتياً . وقد استخدمت السلالات الأصيلة المنتجة بهذه الطريقة فى إنتاج بعض الهجن (عن Burnham ١٩٦٦) ، إلا أن استعمالها لايزال محدود الانتشار .

مصادر النباتات الأحادية

يمكن الحصول على النباتات الأحادية من المصادر التالية :

١- من حالات التوالد البكرى لإحدى الخلايا الأحادية التى توجد فى الكيس الجنينى ، وهى التى سبقت الإشارة إلى أنها تحدث طبيعياً فى الذرة بنسبة تصل إلى ١ ,٠٪ .

٢- من النباتات الأحادية التى تنشأ بطريقة التوالد البكرى الذكرى Androgensis ، وهى الحالات التى تفشل فيها النواة الذكرية فى الاتحاد مع نواة البيضة ، وإنما تنمو النواة الذكرية إلى جنين أحادى مباشرة ، ويكون سيتوبلازم الخلايا الأحادية هو سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة . تحدث هذه الظاهرة بنسبة منخفضة فى الطبيعة ، وقد اقترح Chase الاستفادة منها فى نقل صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالات المرباة داخلياً الأصيلة الخصبة .

٣- من حالات تعدد الأجنة الأحادية polyembryony التى تكون مصاحبة للإخصاب ، وتكوين الجنين الثنائى الجنس فى بذور بعض الأنواع النباتية . وتحدث هذه الظاهرة بنسبة أقل من ١ ,٠٪ فى عدد من من الأنواع النباتية . إلا أنها وجدت بنسبة تزيد على ١٠٪ فى الكتان .

٤- تظهر النباتات الأحادية طبيعياً فى نسل الهجن النوعية والهجن الجنسية . وقد أمكن الاستفادة بهذه الظاهرة فى إنتاج أصناف جديدة ؛ بمضاعفة النباتات الأحادية التى ظهرت فى النسل الناتج من التلقيح بين الشعير المزروع *Hordeum vulgare* ، والشعير البرى *H.bulbosum* . وتعرف الطريقة المتبعة لإنتاج النباتات الثنائية الأصيلة من هذا التهجين باسم طريقة بلبوزم Bulbosum method .

٥- يمكن إنتاج النباتات الأحادية بشكل روتينى ؛ بواسطة مزارع المتوك وحبوب اللقاح ، وهى التى استخدمت لأول مرة مع نوع الداتورة *Datura innoxia* .

مزايا السلالات الثنائية الأصيلة المضاعفة وعيوبها

يمكن تلخيص مزايا النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية فيما يلى :

١- يتم الوصول إلى الأصالة الوراثية بعد عدد أقل من الأجيال عما يلزم فى برامج التربية الداخلية ، ويمكن أن يقلل ذلك من الوقت اللازم لإنتاج سلالات أصيلة .

٢- يمكن أن تكون عملية الانتخاب (المفاضلة) بين الأنسال المتجانسة للأفراد الأحادية المتضاعفة أكثر كفاءة من الانتخاب بين أنسال النباتات المرباة داخليًا ، أو بين نباتات كل نسل منها فى برامج التربية الداخلية .

٣- قد تكون النباتات الأحادية المتضاعفة ذاتها أصنافاً جديدة ، يمكن إكثارها مباشرة.

٤- سهولة الانتخاب للصفات السائدة فى النباتات الأحادية ؛ حيث لاتوجد بها مشكلة التمييز بين الأفراد السائدة الأصيلة ، والسائدة الخليطة .

أما عيوب النباتات الثنائية الأصيلة الناتجة من مضاعفة النباتات الأحادية .. فيمكن تلخيصها فيما يلى :

١- يتطلب تقييم السلالات الثنائية الأصيلة وقتاً طويلاً نسبيًا ؛ حيث لاتوجد أية فرصة لعملية التقييم ؛ على أساس الشكل الظاهرى ؛ خلال مراحل إنتاج النباتات الأصيلة المضاعفة . هذا .. بينما يتمكن المربى من ملاحظة سلوك السلالات فى الحقل فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية . وحينما يحين وقت إنتاجها .. فإن المربى يكون قد كوّن فكرة جيدة عنها ؛ فلايتطلب الأمر تقييمًا كثيراً لها بعد ذلك ؛ مثلما تكون عليها الحال فى السلالات الأصيلة المضاعفة من النباتات الأحادية .

٢- قد يتطلب إنتاج السلالات الأصيلة المضاعفة توفر أجهزة معينة ، وخبرة خاصة فى بعض التقنيات الحديثة .

٣- قد يكون من الصعب التنبؤ بمعدل ظهور الأفراد الأحادية فى العشيرة .

٤- ربما لاتفوق السلالات الأصيلة المنتجة بمضاعفة النباتات الأحادية السلالات المرباة تربية داخلية .

ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج السلالات الأصيلة من النباتات الأحادية .. يراجع Fehr (١٩٨٧) .

أنـواع الهجن

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الهجن ، هى : الهجن الفردية ، والهجن الثلاثية ، والهجن المزدوجة أو الرباعية .

الهجن الفردية

كان Shull – فى عام ١٩٠٩– أول من اقترح إنتاج الهجن الفردية Single Crosses فى الذرة ؛ وذلك بتهجين سلالتين معًا ، على أن يكونا على درجة عالية من القدرة الخاصة على التآلف . وتنتج الهجن الفردية بزراعة خطين من السلالة المستعملة كأم بالتبادل ، مع خط من السلالة المستعملة كأب ، مع إزالة النورات من نباتات السلالة المستعملة كأم ، وهى التى تكون أعلاهما محصولا .

تتميز الهجن الفردية بما يلى :

١– تظهر بها قوة الهجين بدرجة عالية .

٢– تكون على درجة عالية من التجانس ؛ لأن السلالات المستخدمة فى إنتاجها تكون أصيلة وراثيًا ، ولاتحدث بها أية انعزالات وراثية عند إنتاج الجاميطات .

ومن أهم عيوب الهجن الفردية ما يلى :

١– تكون أسعار تقاويها مرتفعة ، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية :

(أ) ضعف محصول السلالات المرباة داخليا ؛ فتقل بذلك كمية البذرة الهجين التى يمكن إنتاجها من وحدة المساحة .

(ب) يفقد ثلث الحقل الإنتاجى فى زراعة السلالة المستخدمة كأب ، ويعد ذلك أمراً ضروريًا ، نظراً لضعف قدرة السلالات المرباة داخليًا على إنتاج حبوب اللقاح ، بما لا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور .

تنطبق هذه العيوب –خاصة على الهجن الفردية فى الذرة الشامية– لذا .. فإنها لم تعد

مستخدمة فى هذا المحصول ، ولكنها تنتج على نطاق واسع فى عديد من المحاصيل الأخرى ؛ مثل البصل ، والخيار ، والكوسة ، والكرنب ، والجزر ، والبنجر . كما تنتج الهجن الفردية كذلك في الذرة السكرية ، التى تباع تقاويها بأسعار أكثر ارتفاعاً مما فى الذرة الشامية ، ولأن التجانس التام فى النمو -وكذلك موعد الحصاد- يعد شرطاً غاية فى الأهمية بالنسبة لعملية الحصاد الآلي فى هذا المحصول ، وهو أمر لايتوفر إلا فى الهجن الفردية .

الهجن الثلاثية

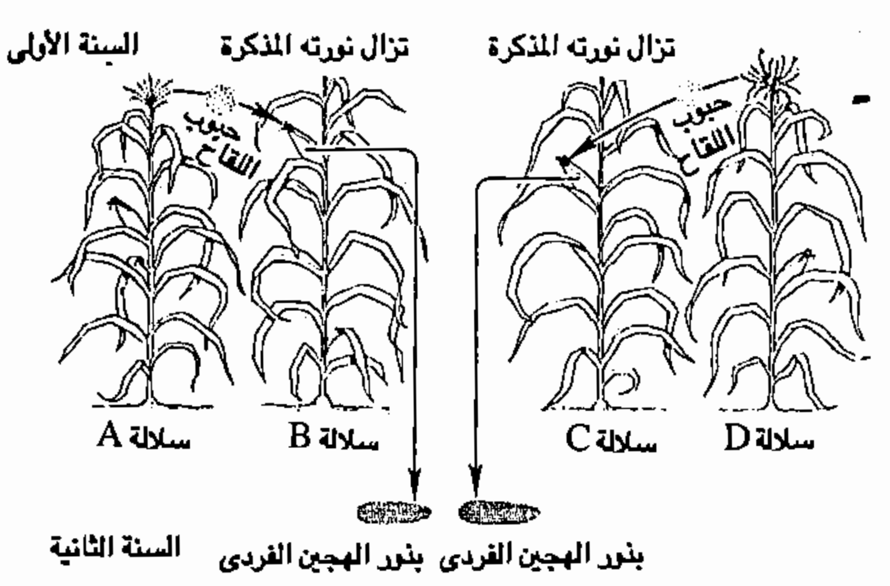
ينتج الهجين الثلاثي Three-way cross بتلقيح هجين فردى بحبوب لقاح من سلالة مرباة داخليًا ، ويُزْرَعُ لذلك خطان من الهجين الفردى - الذى تُزال نوراته المزكرة - بالتبادل مع خط من السلالة المستعملة كأب .

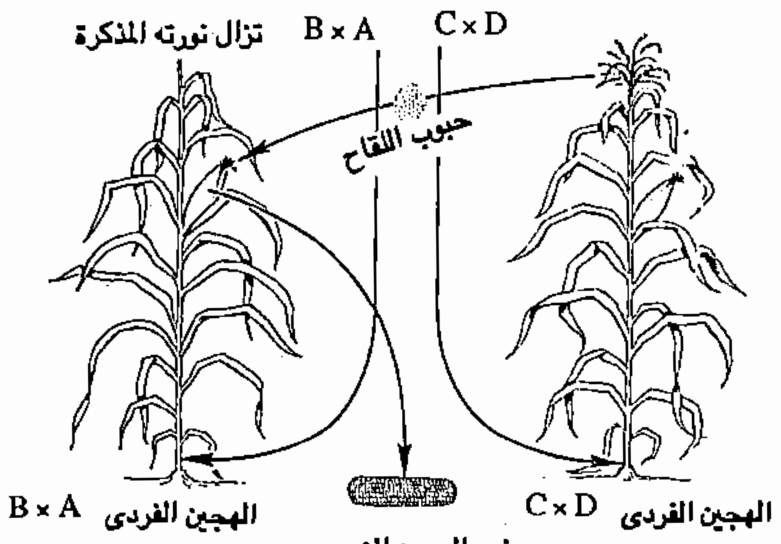
وتتميز الهجن الثلاثية بالانخفاض النسبى لأسعار تقاويها ؛ لأنها تنتج على هجن فردية قوية النمو . كما تتميز بذورها بأنها كبيرة الحجم ومنتظمة الشكل -لنفس السبب السابق- وهى - بذلك - تصلح للزراعة الآلية . لكن يعيبها أن ثلث الحقل الإنتاجى يفقد فى زراعة السلالة المستخدمة كأب ، وهو أمر ضرورى لضعف قدرتها على إنتاج حبوب اللقاح ، بمالا يسمح بنقص نسبتها عن الثلث فى حقل إنتاج البذور .

هذا .. وقد أنتجت الهجن الثلاثية فى الذرة ، إلا أن استعمالها كان محدوداً ، ولايزال كذلك .

الهجن الزوجية (الرباعية)

اقترح Jones فى عام ١٩١٨ إنتاج الهجن الزوجية Double Crosses فى الذرة ؛ بتلقيح هجينين فرديين معًا ، واستعمال البذور الناتجة كصنف تجارى . وتلزم لإنتاج الهجن الزوجية زراعة أربعة خطوط من الهجين الفردى المستعمل كأم بالتبادل ، مع خط من الهجين الفردى المستعمل كأب ، مع إزالة النورات المذكرة من خطوط الأمهات (شكل ١٠-١) .





شكل (١٠ – ١) : طريقة إنتاج الهجن الزوجية فى الذرة .

تتميز الهجن الزوجية بانخفاض أسعارها ؛ للأسباب التالية :

١- تنتج تقاويها على هجن فردية قوية النمو وعالية المحصول .

٢- يستغل ٨٠٪ من الحقل فى إنتاج البذور ؛ لأن الهجين الفردى المستعمل يكون قوى النمو ، وينتج حبوب لقاح بوفرة ، تسمح بقصر زراعته فى خمس الحقل الإنتاجى فقط .

وأهم عيوب الهجن الزوجية ما يلى :

١- تقل درجة التجانس بين نباتات الهجن الزوجى ؛ لكثرة مابه من انعزالات وراثية ؛ نظراً لأنه ينشأ بتهجين هجينين فرديين . ويمكن الحد من حالة عدم التجانس هذه بالاختيار الدقيق للسلالات الأربع التى تستخدم فى إنتاج الهجين ، بمالا يسمح بحدوث انعزالات فى الصفات الاقتصادية والموروفولوجية الهامة .

٢- يقل محصول الهجن الزوجية عن الهجن الثلاثية ، أو الفردية . ولكن يمكن الارتفاع بمحصول الهجن الزوجية إلى مستوى يقارب الهجن الفردية بالاختيار الدقيق للسلالات الداخلة فى إنتاجها ؛ فقد أوضحت الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن محصول الهجين الزوجى يزداد بازدياد التباعد الوراثى بين السلالات الداخلة فى إنتاجه . ويحسن - فى حالة اشتراك بعض السلالات فى أصل واحد - أن تستعمل السلالات القريبة من بعضها البعض وراثيًا فى إنتاج الهجن الفردية ؛ بحيث تكون الهجن الفردية المستعملة فى إنتاج الهجين الزوجى بعيدة وراثيًا عن بعضها البعض ؛ فمثلا : لو أن السلالات الداخلة فى إنتاج الهجين الزوجى هى أ ، ب ، جـ ، د ، وكانت أ ، ب تربطهما صلة قرابة ، وكذلك جـ ، د فإن الهجين الزوجى يجب أن ينتج بتهجين الهجين الفردى أ ب مع الهجين الفردى جـ د .

هذا .. وينتشر استعمال الهجن الزوجية فى الذرة الشامية على نطاق واسع فى جميع أنحاء العالم ، وتستعمل على نطاق ضيق فى الذرة السكرية ، وبعض الصليبيات ، إلا أنها قلما تستعمل فى المحاصيل الأخرى .

وسائل الاستفادة من الجيل الثانى للهجن

لاينصح باستعمال الجيل الثانى للهجن فى الزراعة ؛ للأسباب التالية :

١- يحتوى الجيل الثانى - نظريًا - على نصف قوة الهجين التى توجد فى الجيل الأول

. وقد قدر النقص فى المحصول – عمليًا – بنحو ٢٦٪ فى الهجن الزوجية ، و ٣٦٪ للهجن الثلاثية ، و ٤٨٪ للهجن الفردية . وتجدر الإشارة إلى أن عشائر الجيل الثانى لهذه الهجن ليست سوى أصناف تركيبية ، تعتمد – فى تكوينها – على عدد من السلالات أقل مما يوصى به (يراجع موضوع الأصناف التركيبية فى هذا الفصل) .

٢– تزيد الاختلافات الوراثية بين أفراد الجيل الثانى ؛ بدرجة كبيرة لايتحقق معها التجانس المطلوب فى الأصناف المحسنة .

هذا .. إلا أن الجيل الثانى يستعمل تجاريًا فى الحالات التى ترتفع فيها أسعار الهجن بدرجة كبيرة حيث تقترب أسعار تقاوى الجيل الثانى من أسعار تقاوى الأصناف العادية ، بينما تحتفظ النباتات بنصف قوة الهجين . ولايمكن –فى هذه الحالة– إكثار الصنف بمزيد من التلقيح الذاتى . ومن أمثلة الهجن التى يستعمل فيها الجيل الثانى –تجاريًا– صنف الطماطم Foremost ، والقاوون Market Pride ، والبتونيا Violet Blue ، والبانسية Seven-Eleven .

كما يستخدم الجيل الثانى فى أغراض التربية ؛ حيث يمكن أن يبدأ منه برنامج للتربية الداخلية ؛ لإنتاج سلالات جديدة فائقة مرباة داخليًا . كذلك .. قام بعض الباحثين بإنتاج الجيلين الثانى والثالث من الهجن الفردية ، ثم إنتاج هجن زوجية بتلقيح نباتات من أى من هذين الجيلين . ومن الطبيعى أن تكون هذه النباتات (آباء الهجن الزوجية) خليطة ؛ وبذا .. لايمكن المحافظة عليها ؛ لتكرار إنتاج الهجن للاستعمال التجارى . ونظريًا .. فإن هذه الهجن يجب أن تتساوى – فى غياب الانتخاب لآبائها – مع الهجن الزوجية الناتجة من تلقيح هجن فردية . وقد تأكد ذلك – عمليًا – بعدد من الدراسات (عن Allard ١٩٦٤) .

أما محاولات إنتاج الجيل الثانى والأجيال التالية – بالتربية الداخلية – بهدف التوصل إلى آباء الهجن ؛ لإعادة إنتاجها ؛ فهى محاولات مقضى عليها بالفشل ، ولايمكن أن يفكر فيها شخص ملم بمبادئ التربية ؛ فمن المتوقع أن يظهر فى الجيل الثانى للهجن $٣^{ن}$ تركيب وراثى مختلف ؛ حيث (ن) هى عدد العوامل الوراثية الخليطة فى الجيل الأول الهجين ؛ وعليه .. فإن عدد التراكيب الوراثية التى يمكن ظهورها فى الجيل الثانى يكون كبيراً للغاية ؛ فلو كانت (ن) تساوى ٣٠ – وهو تقدير متواضع للغاية – فإن عدد التراكيب الوراثية التى يحتمل ظهورها يصبح $٢,٠٥٨٩ \times ١٠^{١٤}$. ولن يمكن معرفة التراكيب

المرغوب فيها منها - للجهل بها ابتداءً - فضلاً على استحالة زراعة هذا العدد من النباتات ، أو إخضاع بعضها للتربية الداخلية ؛ لعزل سلالتى الآباء بحالة أصيلة .

الظواهر التى يستفاد بها فى إنتاج الأصناف الهجين

يستفيد المربى ببعض الظواهر النباتية ؛ مثل العقم الذكرى ، وعدم التوافق (الفصل الثامن) ، وانفصال الجنس (الفصل الثانى) فى إنتاج الهجن . ونتناول بالشرح - فيما يلى - كيفية الاستفادة بهذه الظواهر -وغيرها- فى عملية إنتاج البذرة الهجين .

العقم الذكرى الوراثى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج الهجن ، باستعمال سلالات أمهات ، تكون أصيلة فى صفة العقم الذكرى (ms ms) ، بينما تكون سلالات الآباء خصبة أصيلة (Ms Ms) ؛ وبذا .. تكون البذرة الهجين - وهى التى تحصد من سلالات الأمهات - خليطة وخصبة (Ms ms) . تنتج هذه الهجن دونما حاجة إلى خصى الأزهار المذكرة ، أو إزالة النورات المذكرة من نباتات الأمهات .

وقد استخدمت ظاهرة العقم الذكرى الوراثى فى إنتاج الهجن الفردية فى كثير من المحاصيل ، إلا أنها لاتصلح لإنتاج الهجن الزوجية ؛ لأن كلا الهجينين الفرديين المستعملين فى إنتاج الهجين الزوجى يكون كل منهما خصب الذكر ، فى حين يلزم أن يكون أحدهما عقيم الذكر ؛ حتى يمكن إنتاج الهجين الزوجى .

ولكى تكون الاستفادة بظاهرة العقم الذكرى الوراثى تامة .. فإنه تلزم توفر وسيلة فعالة لنقل حبوب اللقاح من السلالة الخصبة الذكر إلى السلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم ، وإلا تطلب الأمر إجراء عملية التلقيح يدويًا ؛ لهذا السبب .. فإنه لم يمكن الاستفادة - حتى الآن - من صفة العقم الذكرى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح ؛ مثل الطماطم . فبرغم توفر عديد من جينات العقم الذكرى فى هذا المحصول .. إلا أن جميع الأصناف الهجين المتداولة -تجاريًا- تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى . ويرجع ذلك إلى قلة النشاط الحشرى فى الطماطم ، وضعف قدرة زهرة الطماطم على إنتاج حبوب اللقاح - مقارنة بالمحاصيل الخلطية التلقيح - كما أن برامج مكافحة الآفات المتبعة فى حقول الطماطم تتعارض مع إمكان استخدام الحشرات فى التلقيح .

كذلك توجد محاصيل خلطية التلقيح - كالقرعيات - تتوفر فيها جينات العقم الذكرى ، إلا أن جميع أصنافها الهجين المتداولة تجاريًا تنتج بذورها بالتلقيح اليدوى . ومن أهم الأسباب التى جعلت مربى النبات يعزفون عن الاستفادة بظاهرة العقم الذكرى -عوضاً عن عملية الخصى فى بعض المحاصيل الذاتية التلقيح كالطماطم ، أو عوضًا عن عمليتى الخصى والتلقيح فى بعض المحاصيل الخليطة التلقيح كالقرعيات -ما يلى :

١- تميز هذه المحاصيل بإنتاجها أعداداً كبيرة من البذور من كل تلقيح ، مع عدم حاجتها إلى كميات كبيرة من التقاوى لزراعة وحدة المساحة .

٢- سهولة إجراء التلقيحات اليدوية فيها .

فإذا أضفنا إلى ذلك ضرورة إدخال صفة العقم الذكرى فى سلالات الأمهات ، والجهود التى تبذل للتخلص من النباتات الخصبة الذكر التى تظهر فى خطوطها .. لوجدنا أن التلقيح اليدوى يعد أفضل لإنتاج الهجن فى مثل هذه المحاصيل .

ويتطلب الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى الوراثى -فى إنتاج الهجن التجارية- نقل صفة العقم الذكرى لسلالات الآباء . ونظراً لأن السلالات العقيمة الذكر لايمكن إكثارها - للمحافظة عليها - بالتلقيح الذاتى ؛ لذا .. فإنها تكثر بتلقيحها مع نباتات خصبة خليطة فى صفة العقم الذكرى (Msms) ؛ حيث تكون نصف نباتات النسل الناتج عقيمة الذكر أصيلة (msms) ، ونصفها الآخر خصبة الذكر خليطة (Ms ms) . ويتطلب الإنتاج التجارى للهجن ضرورة التخلص من هذه النباتات الخصبة فى مرحلة مبكرة من النمو ؛ لأن وجودها يعنى حدوث التلقيح الذاتى ، ويجرى ذلك باتباع إحدى الوسائل التالية :

١- بإزالة النباتات الخصبة الذكر بمجرد ملاحظتها عند الإزهار . وتتطلب هذه الطريقة أيدى عاملة كثيرة ، الأمر الذى يقلل من مزايا الاعتماد على ظاهرة العقم الذكرى فى إنتاج الهجن .

٢- بربط جين الخصوبة -إن أمكن- مع جين يتحكم فى الحساسية لأحد المركبات الكيميائية ، ثم التخلص من النباتات الخصبة ، بمعاملتها بهذا المركب . وقد اقتُرِحَ - فى هذا المجال - ربط جين الخصوبة فى الشعير بالجين المسئول عن الحساسية لمركب الد د.د.ت .

٣- بإدخال جينات معلمة ، ترتبط ارتباطاً قويًا بصفة العقم الذكرى فى السلالات

العقيمة الذكر ؛ حتى يمكن تمييز النباتات الخصبة الذكر . ومن أمثلة ذلك جين يتحكم فى لون الأليرون فى حبة الذرة ؛ مما يسمح بفرز البذور أليكترونيا قبل زراعتها .

٤- باستعمال جينات معلمة تكون ذات تأثير متعدد ؛ بحيث يسهل تمييز النباتات العقيمة الذكر من النباتات الخصبة . ومن أمثلة ذلك .. ظهور صفة الأوراق الملساء الخالية من الشعيرات فى إحدى سلالات البطيخ العقمية الذكر ، وكذلك ظهور صفة الأوراق الضيقة فى الخس ، عند وجود صفة العقم الذكرى ، التى يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية المتنحية .

٥- بربط جين العقم الذكرى بإحدى حالات الكروموسومات غير العادية ، التى قد تؤثر فى صفة ظاهرة كحجم البذرة على سبيل المثال . وقد أمكن ربط صفة خصوبة الذكر فى الذرة بكروموسوم ، يوجد به نقص مزدوج duplicate-deficient (Dp-Df) لاينتقل خلال الجاميطة المذكرة . وتحصد البذور التى تحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة من الهجين :

الأب   Dp-Df Ms ms   x   ms ms   الأم

وتكثر السلالة ذات النقص الكروموسومى المزدوج بالانتخاب فى نسل السلالة المستخدمة كأب (عن Duvick ١٩٦٦ ، Welsh ١٩٨١) .

العقم الذكرى السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى إنتاج هجن بعض المحاصيل ؛ مثل البصل ، وبنجر السكر ؛ حيث تكون سلالات الأمهات عقيمة الذكر (S) وتصل إليها حبوب اللقاح من سلالات الآباء الخصبة الذكر (F) . وهنا .. لابد أيضاً من وسيلة طبيعية لنقل حبوب اللقاح ، ويتم ذلك إما بواسطة الحشرات كما فى البصل وإما بواسطة الهواء كما فى البنجر .

يكون الهجين الناتج - فى حالة استعمال ظاهرة العقم الذكرى السيتوبلازمى - عقيم الذكر ؛ لأنه يتلقى السيتوبلازم من الأم التى تحمل العامل (S) ؛ ولذا .. فإن استعمال هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن مقصور على المحاصيل التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية ، أو أزهارها ؛ مثل البصل ، والبنجر ، ونباتات الزينة . ولايمكن الاعتماد على هذه الظاهرة فى

إنتاج الهجن الفردية من المحاصيل التى تزرع لأجل بذورها ، أو ثمارها ، إلا إذا خلطت البذرة الهجين الناتجة (وهى التى تحمل العامل S) مع بذور أخرى من الهجين ذاته ، يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها ؛ حيث تشكل الأخيرة مصدراً لحبوب اللقاح فى المزارع التجارية لهذا الهجين ؛ لأنها تكون خصبة الذكر . ويطلق على هذه الطريقة اسم الخلط Blending .

وقد اتبعت طريقة الخلط هذه – على نطاق واسع – فى إنتاج الهجن الزوجية من الذرة، قبل اكتشاف ظاهرة العقم الذكرى الوراثى السيتوبلازمى . وكان ذلك يجرى بإدخال صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى إحدى السلالات الأربع التى تدخل فى تكوين الهجين الزوجى ؛ فلو فرض أن كان الهجين الزوجى المراد إنتاجه هو أ ب × جـ د ، وأدخلت صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى إلى السلالة أ .. فإن هذه السلالة تستعمل كأم فى إنتاج الهجين الفردى أ ب ، الذى يكون عقيم الذكر ؛ لأنه يتلقى عامل العقم (s) من سيتوبلازم الأم . أما الهجين الفردى جـ د .. فإنه ينتج بطريقة التلقيح اليدوى ، ويكون خصب الذكر ، يستعمل الهجين الفردى العقيم أ ب كأم فى إنتاج الهجين الزوجى أ ب × جـ د الذى يكون عقيم الذكر ؛ لأنه يتلقى عامل العقم (s) من الأم العقيمة التى هى الهجين الفردى أ ب . ويخلط بذرة الهجين الزوجى أ ب × جـ د المنتجة بهذه الطريقة (وهى التى تحمل العامل s) مع بذور أخرى من الهجين نفسه يكون قد استعمل التلقيح اليدوى فى إنتاجها .. فإن المخلوط الناتج (blend) يمكن زراعته كصنف هجين ؛ حيث تشكل البذور الناتجة من التلقيح اليدوى مصدراً لحبوب اللقاح ؛ لأنها تكون خصبة الذكر .

العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى

يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى – السيتوبلازمى فى إنتاج هجن المحاصيل ، التى تزرع لأجل بذورها أو ثمارها ؛ مثل الذرة ، وذرة المكانس (السرغوم) . ويكون التركيب الوراثى للسلالة العقيمة الذكر المستعملة كأم هو Srr ، بينما يكون التركيب الوراثى للسلالة الخصبة الذكر المستعملة كأب إما FRR ، أو SRR . ويكون الهجين الناتج – فى أى من الحالتين – خصب الذكر ، وذا تركيب وراثى SRr .

كما يستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن الزوجية أيضًا ؛ فلو كان الهجين

الزوجى المطلوب هو أ ب × جـ د فإن الأمر يتطلب -أولاً- إدخال صفة العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى إلى إحدى سلالتى كل هجين فردى ؛ ليصبح تركيبهما الوراثى Srr . أما التركيب الوراثى للسلالة الأخرى -لكل هجين فردى- فيكون FRR فى أحد الهجينين الفرديين ، و Frr فى الهجين الآخر ، وتكون التراكيب الوراثية للسلالات والهجن الفردية كما يلى :

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى	استعمالها
أ	Srr	عقيمة الذكر	أم فى الهجين الفردى أ ب
ب	FRR	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى أ ب
جـ	Srr	عقيمة الذكر	أم فى الهجين الفردى جـ د
د	Frr	خصبة الذكر	أب فى الهجين الفردى جـ د

وبذا .. فإن الهجين الفردى أ ب يكون خصب الذكر ، وذا تركيب وراثى SRr ، أما الهجين الفردى جـ د .. فإنه يكون عقيم الذكر ، وذا تركيب وراثى Srr (يراجع ذلك تحت موضوع العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى فى الفصل الثامن) . وباستعمال الهجين الفردى جـ د كأم مع الهجين الفردى أ ب الذى يستعمل كأب .. فإن نصف نباتات الهجين الزوجى أ ب × جـ د تكون خصبة الذكر ، وذا تركيب وراثى SRr ، بينما تكون نباتات نصفه الآخر عقيمة الذكر ، وذات تركيب وراثى Srr ، ويقوم النصف الخصب بإمداد جميع النباتات فى الحقل بحبوب اللقاح اللازمة .

وتتميز هذه الطريقة بعدم الحاجة إلى إزالة النورات المذكرة من السلالات ، أو الهجن الفردية المستعملة كأمهات فى جميع مراحل إنتاج الهجين الزوجى . ولكن يعاب عليها صعوبة إدخال الجين R إلى السلالات المستعملة كآباء ؛ لأن الجين لايمكن تتبعه إلا باختبار النسل .

كذلك .. يستفاد من ظاهرة العقم الذكرى الوراثى - السيتوبلازمى فى إنتاج الهجن الفردية التجارية من البصل ؛ حيث تلزم ثلاث سلالات لإنتاج كل هجين ، وهى كما يلى :

السلالة	التركيب الوراثى	الشكل الظاهرى
أ	Srr	عقيمة الذكر
ب	Frr	خصبة الذكر
جـ	FRR	خصبة الذكر

تتماثل السلالتان (أ ، ب) تماماً فى كل صفاتها فيما عدا صفة العقم الذكرى . أما السلالة (جـ) .. فتسمى القرين المفضل good combiner ، وتكون ذات قدرة عالية على التوافق مع السلالة (أ) ؛ لتعطى الهجين المرغوب فيه وتزرع السلالتان (أ ، ب) فى خطوط بالتبادل ، وتحصد بذور كل سلالة على حدة ؛ فتكون البذور الناتجة من السلالة (أ) نسلاً للسلالة (أ) ، والبذور الناتجة من السلالة (ب) نسلاً للسلالة (ب) ، علماً بأن حبوب لقاح السلالة (ب) تلقح كلاً من السلالتين (أ ، ب) . أما السلالة (جـ) .. فإنها تزرع فى قطعة أرض منعزلة ؛ لإكثارها ، والمحافظة عليها بالتلقيح الخلطى الطبيعى بين نباتاتها . ولإنتاج بذرة الهجين التجارى .. تزرع السلالتان (أ ، جـ) معًا فى قطعة أرض معزولة ، بمعدل خط من السلالة (جـ) لكل ٤-٦ خطوط من السلالة (أ) ، أو بمعدل خطين من السلالة (جـ) لكل ثمانية خطوط من السلالة (أ) . ولمزيد من التفاصيل عن إنتاج هجن البصل .. يراجع Pike (١٩٨٦) .

عدم التوافق

كان O.H. Pearson فى عام ١٩٣٢ هو أول من اقترح الاستفادة من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن التجارية . كما ذكر Attia & Munger (عن Wallace & Nasrallah ١٩٦٦) أن هذه الظاهرة تتسبب فى حدوث التلقيح الخلطى فى الكرنب بنسبة ٩٠-١٠٠٪ ، وأن هذه النسبة تعد جيدة للبدء فى إنتاج البذرة الهجين . وتشيع -حاليًا- الاستفادة من هذه الظاهرة فى إنتاج هجن عديد من المحاصيل ، خاصة النباتات الصليبية ؛ مثل الكرنب ، وكرنب بروكسل ، والكرنب الصينى التى توجد فيها ظاهرة عدم التوافق الاسبوروفيتى . ويشترط لإنتاج الهجين أن تكون سلالتا الأبوين غير متوافقتين ذاتيًا ، بينما تكونان متوافقتين خلطيًا مع بعضيهما ؛ أى إن كلاً منهما تكون ملقحة للأخرى ؛ وبذا .. تحصد البذرة الهجين من كلتا السلالتين فى حقل إنتاج البذور .

ومن أهم المشاكل التى تواجه إنتاج هجن الصليبيات -بالاعتماد على ظاهرة عدم التوافق- ما يلى :

١- يلزم دراسة نوع التفاعل الأليلى ، الذى يوجد بكل سلالة قبل البدء فى إنتاج البذرة الهجين .

٢- لاتكون صفة عدم التوافق ثابتة فى كل الظروف البيئية .

٣- ضعف السلالات المرباة داخلياً .

ويستفاد من ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن الفردية ، والثلاثية ، والزوجية (الرباعية) . وتنتج الهجن الثلاثية بالتلقيح بين هجين فردى غير متوافق ذاتياً كأم ، وسلالة مرباة داخلياً كأب ، بينما تنتج الهجن الزوجية بالتلقيح بين هجينين فرديين ، على أن يكون الهجين الفردى المستعمل كأم غير متوافق ذاتياً . ويمكن حصاد البذرة الهجين من كلا الأبوين - أياً كان نوع الهجين- إذا كان الأبوان غير متوافقين ذاتيا ؛ فحينئذ .. يصبح كل منهما ملقحاً للآخر ، وتكون البذرة الهجين الناتجة من كليهما متماثلة فى تركيبها الوراثى، إلا إذا وجدت صفات معينة تتأثر بالأم ، أو تورّث عن طريقها .

هذا .. إلا أن أغلب هجن الصليبيات التى تنتج فى الولايات المتحدة - حاليًا - هى من نوع التلقيحات القمية Topcrosses ؛ حيث يستخدم صنف تجارى ناجح مفتوح التلقيح كملقح لسلالة عديمة التوافق ذاتياً تستخدم كأم . كما تنتج -أيضاً- تلقيحات قمية ثلاثية باستخدام صنف تجارى مفتوح التلقيح كملقح لهجين فردى غير متوافق ذاتياً (Dickson & Wallace ١٩٨٦) .

انفصال الجنس

يستفاد من حالات انفصال الجنس فى إنتاج الهجن على النحو التالى :

١- حالات النباتات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن Monoecious :

عندما يكون النبات وحيد الجنس وحيد المسكن (أى عندما يحمل أزهاراً مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج الهجين يكون أمراً ميسورا ؛ حيث لايلزم سوى إزالة الأزهار المذكرة - أولا بأول - من السلالة المستعملة كأم . ويستفاد من هذه الظاهرة فى إنتاج الهجن التجارية من الذرة ؛ وذلك بإزالة النورة المذكرة detassling من خطوط سلالات الأمهات قبل تفتح أزهارها . وتتطلب هذه العملية كثيراً من الأيدى العاملة ، إلا انها تجرى آلياً . وتحصد البذرة الهجين من النباتات التى أزيلت نوراتها المذكرة .

ومن أهم متطلبات هذه الطريقة توفير عزل جيد لحقل إنتاج البذور ؛ حتى لاتصله

حبوب لقاح من مصادر أخرى خارج الحقل . ويتم العزل إما بتوفير مسافة كبيرة خالية من نباتات الذرة حول حقل إنتاج البذور ، وإما بزراعة المنطقة المحيطة بحقل إنتاج التقاوى بالسلالة المستخدمة كأب ؛ لضمان تواجد كثافة عالية من حبوب لقاح الأب المرغوب فيه . كذلك .. تجب العناية بإزالة النورات المذكرة ؛ بحيث لاتتسبب فى حدوث أضرار للنباتات . وتجرى هذه العملية على مراحل ؛ لأن النباتات لاتزهر كلها فى وقت واحد . ورغم إمكان إجراء هذه العملية -آليًا- إلا أنه يجب أن تؤخذ فى الحسبان احتمالات إجرائها -يدويًا- فى حالة سقوط الأمطار فى وقت حرج ؛ حيث يستحيل -حينئذ- مرور الآلات فى الحقل .

ويزرع حقل إنتاج البذور -عادة- بستة خطوط من سلالة الأم ، بالتبادل مع خطين من سلالة الأب . ويمكن بهذه الطريقة حصاد الآباء منفردة مع المحافظة على نقاوة البذرة الهجين . ويُتَخَلصُ -أحياناً- من نباتات سلالة الأب ؛ بحرثها فى الأرض ، أو تكسير سيقانها بعد التلقيح (عن Welsh ١٩٨١) .

٢- حالات النباتات الوحيدة الجنس الثنائية المسكن Dioecious :

عندما يكون النبات وحيد الجنس ثنائى المسكن (أى عندما توجد نباتات مذكرة وأخرى مؤنثة) .. فإن إنتاج البذرة الهجين يتم بزراعة سلالات الآباء فى خطوط متبادلة ، ثم إزالة النباتات المذكرة من خطوط السلالة المستعملة كأم ، قبل انتشار حبوب اللقاح منها . وتتبع هذه الطريقة فى إنتاج هجن السبانخ التى يكون التلقيح فيها -خلطيًا- بالهواء .

٣- حالات النباتات المؤنثة :

تستعمل السلالات المؤنثة gynoecious فى إنتاج هجن الخيار ؛ حيث تزرع كأمهات فى خطوط متبادلة مع سلالات الآباء ، ويترك الحقل للتلقيح الخلطى الطبيعى بالحشرات . ونظراً لأن حالة الأنوثة صفة بسيطة ؛ لذا .. فإنها تظهر فى الجيل الأول الهجين ، الذى لايحمل بدوره سوى أزهار مؤنثة فقط . ويتطلب عقد الثمار -فى الحقول التجارية للأصناف الهجين الأنثوية- توفر أحد الشروط التالية :

(أ) أن يكون الصنف قادراً على العقد البكرى للثمار parthenocarpic ، وتتوفر هذه الصفة فى معظم أصناف الخيار الأنثوية التى تزرع فى البيوت المحمية .

(ب) أن تخلط البذرة الهجين ببذور أحد الأصناف الشبيهة الوحيدة الجنس الوحيدة

المسكن ؛ حتى تكون مصدراً لحبوب اللقاح . وتقوم شركات البذور -عادة- بخلط بذور الملقحات - هذه - بنسبة ١٢-١٥٪ مع الهجن الأنثوية .

(جـ) ألا يكون الصنف تام الأنوثة ؛ حيث لاتظهر صفة الأنوثة كاملة وهى بحالة خليطة في بعض الخلفيات الوراثية . ويمكن بالاختيار الدقيق للسلالة المستعملة كأب إنتاج هجن لاتكونه تامة الأنوثة ، بل تحمل عدداً قليلاً -نسبياً- من الأزهار المذكرة التى تنتج حبوب اللقاح اللازمة للتلقيح (عن Duvick ١٩٦٦) .

التقارن التفضيلى الكامل

يحدث - أحياناً - عند إجراء تهجين بين صنفين ، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول أن تفضل الكروموسومات الآتية -من كل صنف- الاقتران مع بعضها البعض عند الانقسام . وتعرف هذه الظاهرة باسم التقارن التفضيلى الكامل Complete Preferential Pairing . وإذا حدثت الظاهرة بشكل تام .. فإنه لاتحدث أية انعزالات فى نسل الجيل الأول الهجين ؛ وبذا .. يمكن المحافظة عليه وإكثاره ، دونما حاجة إلى إعادة التهجين سنويا .

النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تحتوى النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics على كروموسوم واحد زائد ، يتكون من جزأين من كروموسومين غير متماثلين ، وهى حالة نادرة الوجود فى الطبيعة . وقد اقترح الاستفادة من هذه الظاهرة فى إكثار سلالات الأمهات العقيمة الذكر ؛ لأنها لاتسمح بظهور نباتات خصبة الذكر فى خطوط الأمهات ، وهى النباتات التى يلزم التخلص منها -عند اتباع طريقة الإكثار العادية للنباتات العقيمة الذكر- بذل جهد كبير ، وقد بدأ تطبيقها فى الشعير .

يعتمد تطبيق هذه الظاهرة - فى إكثار السلالات العقيمة الذكر- على أساس أن التراكيب الكروموسومية غير الطبيعية ، لاتنتقل - عادة - عن طريق حبوب اللقاح ؛ حيث تكون جميع حبوب اللقاح الخصبة طبيعية . ويؤدى التلقيح الذاتى للنباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة إلى إنتاج بذور طبيعية ، وأخرى بها الظاهرة . وتكون البذور الأخيرة فى الشعير صغيرة

ومتغضنة (مجعدة) ، ويسهل فصلها - آليا - عن البذور الطبيعية .

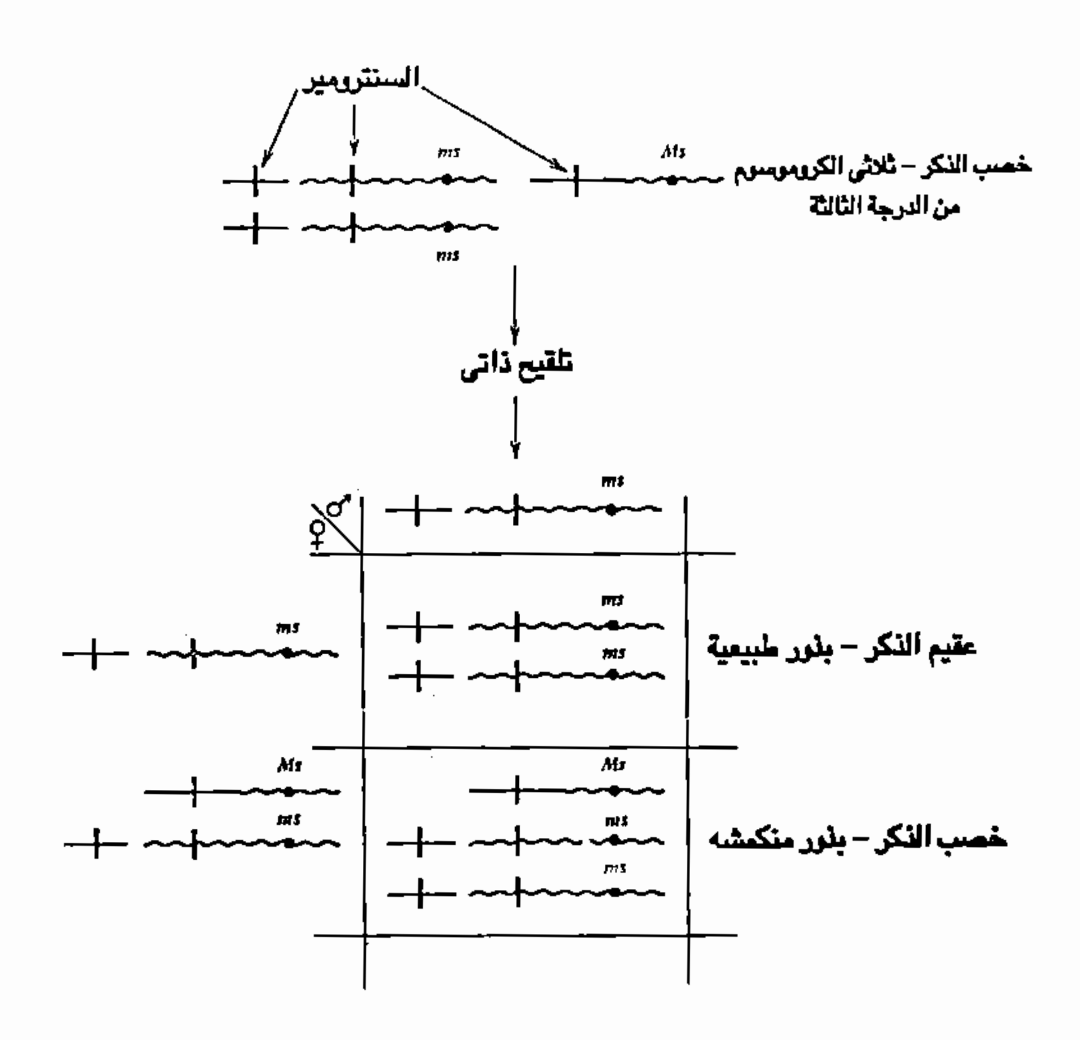
يتطلب الأمر بعض الهندسة الكروموسومية لوضع الأليل السائد للخصوبة (Ms) بالقرب من موقع الالتحام بين جزأي الكروموسومين غير المتماثلين فى الكروموسوم الزائد ، بينما يكون أليل العقم الذكرى المتنحى (ms) فى الكروموسوم الطبيعى . ونظراً لأن العبور يقل بشدة فى أجزاء الكروموسوم الزائد القريبة من منطقة الالتحام ، لذا .. فإنه يتكون نوعان فقط من الجاميطات ، يكون أحدهما طبيعياً والآخر يحتوى على الكروموسوم الزائد . وكما سبق الذكر .. فإن حبوب اللقاح التى تحتوى على الكروموسوم الزائد لاتكون خصبة ، ولاتشارك فى تكوين النسل ؛ وينتج من ذلك .. أن تكون نصف البذور الناتجة من التلقيح الذاتى لهذا النبات (الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة) طبيعية ، وتحمل جين العقم الذكرى بحالة أصيلة ، بينما يحمل نصفها الآخر الكروموسوم الزائد - المحتوى على أليل الخصوبة السائد - وتكون صغيرة ومتغضنة (شكل ١٠-٢) ، ويسهل فصلها - آلياً - قبل الزراعة . وبهذه الطريقة يسهل إكثار السلالات العقيمة الذكر بطريق التلقيح الذاتى .

التكاثر اللا إخصابى

تنتشر ظاهرة التكاثر اللاإخصابى فى كثير من الأنواع النباتية (تراجع الظاهرة فى الفصل الثانى) ، وقد اقترح البعض الاستفادة بها ؛ كوسيلة لإكثار الصنف الهجين بعد إنتاجه ؛ ذلك لأن الأجنة اللاإخصابية تكون مشابهة للأم تماماً فى تركيبها الوراثى . ويذكر Sprague (١٩٦٧) أن ظاهرة التكاثر اللاإخصابى تستخدم فى إنتاج بذور هجن حشيشة Argentina Bahia Grass .

استخدام مبيدات الجاميطات فى إنتاج الهجن

يستعمل مصطلح مبيدات الجاميطات gametocides فى وصف المركبات الكيميائية التى تحدث المعاملة بها عقما ذكرياً ، دون أن يكون لها تأثير فى خصوبة البويضة . وإذا كانت هذه المركبات على درجة عالية من الكفاءة .. فإنها يمكن أن تحدث عقماً ذكرياً فى أية سلالة تربية ، يراد استخدامها كأم فى الهجن ، وهو ما يلغى الحاجة إلى الهجن الرجعية التى تلزم لإدخال صفة العقم الذكرى فى هذه السلالات .



شكل (١٠ – ٢) : تخطيط يبين كيفية استعمال النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة tertiary trisomics فى إكثار السلالات العقيمة الذكر .

ولكى تكون هذه المركبات نافعة حقًا .. فإنها يجب أن تكون مؤثرة فى حبوب اللقاح ، دون أن يكون لها تأثير فى البويضات ، وألاّ يكون لها تأثير مُطفر ، وأن يكون استعمالها اقتصادياً وسهلاً ، وألا يكون لها تأثيرات جانبية ضارة . ونظراً لأن الإزهار يمتد لفترة طويلة فى عديد من المحاصيل ؛ لذا .. فإنه يفضل أن تكون هذه المركبات جهازية ، أو أن تربى سلالات من النباتات يتركز فيها الإزهار خلال فترة قصيرة نسبياً ؛ وإلا فإنه قد تلزم

المعاملة عدة مرات بالمركب (Riggs ١٩٨٨) .

يقتصر استعمال مبيدات الجاميطات - فى الوقت الحاضر- على إنتاج هجن بعض محاصيل الحبوب . وفى محاصيل الخضر .. اختبر ١٥ مركباً كمبيدات جاميطات ، ووجد أن الماليك هيدرازيد - بتركيز ١٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون - كان أكثرها فاعلية ؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح فى الباذنجان ، والفلفل ، والطماطم ، دون أن يؤثر - سلبيًا - فى الأعضاء الزهرية الأنثوية ، وكانت أفضل المعاملات هى رش النموات الخضرية قبل تفتح الأزهار بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون فى الباذنجان ، والبصل ، و١٠٠-١٥٠ جزء فى المليون فى الطماطم ، و ٤٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون فى الباميا والفلفل . كما أفاد -أيضًا- استعمال مركب 2,3-dichloroisobutyrate (الذى يعرف باسم Mendox) مع الطماطم ؛ حيث أحدث نسبة عالية من العقم فى حبوب اللقاح ، إلا أنه كان له تأثير سلبى فى النمو النباتى وعقد الثمار (George ١٩٨٥) . واستُخدم -أيضاً- كل من GA_3 ، و $GA_{4/7}$ مع كل من الخس والطماطم . كما استعملت منظمات النمو - مثل الإثيفون - فى تثبيط إنتاج الأزهار المذكرة فى سلالات الأمهات من القرعيات .

العوامل المؤثرة فى كفاءة عملية التلقيح بين سلالات آباء الهجن

تتأثر كفاءة عملية التلقيح - بين سلالات آباء الهجن - بعدد من العوامل ، لعل من أبرزها ضرورة توافق موعد الإزهار فى سلالتى الآباء ، وهو ما يعرف باسم nicking . هذا .. علماً بأن توافق الإزهار فى موسم معين ، وفى منطقة معينة لايعنى بالضرورة أن يستمر التوافق فى مواسم أو مناطق أخرى ، ويستدل على ذلك بالخبرة . ويمكن تعديل موعد زراعة إحدى السلالتين ؛ بحيث تزهر فى موعد إزهار السلالة الأخرى .

وتحدث معظم المشاكل حينما يُعتمد على الحشرات فى عملية التلقيح ؛ فالنحل الذى يجمع حبوب اللقاح يميل إلى الإكثار من زيارة السلالات الخصبة الذكر ، بينما يقضى وقتًا أقل مع السلالات العقيمة الذكر . وحتى حينما تكون سلالتا الآباء خصبتين - كما فى حالة الاعتماد على ظاهرة عدم التوافق فى إنتاج الهجن - فإن النحل قد يفضل إحدى

السلالتين على الأخرى لأسباب قد ترجع إلى لون البتلات ، أو تركيز الرحيق بها ، أو ارتفاع النبات . كما يميل النحل - أحياناً - إلى البقاء على السلالة التى بدأ بها فى أول زيارته للحقل بدلاً من التحرك بطريقة عشوائية .

كذلك لايفيد النحل فى التلقيح داخل أقفاص العزل السلكية ، أو المصنوعة من الشاش ، أو القماش (Cages) ، بل على العكس .. فإنه يضر فيها الأزهار ؛ نظراً لأنه لايميل إلى البقاء داخل الأماكن الصغيرة المغلقة . وقد أوضحت الدراسات -التى أجريت فى هذا المجال- أن النحل يحدث أضراراً بمياسم أزهار البصل ، ويتسبب فى نقص محصول البذور . وأفضل الحشرات للتلقيح داخل الأماكن الضيقة كهذه .. الذبابة السَّرْوُء Blowfly ، وهى ذبابة تضع بيضها على اللحم .

هذا .. إلا أنه يمكن استخدام النحل فى التلقيح عند إنتاج التقاوى فى البيوت المحمية ؛ فقد أنتج Dowker وآخرون (١٩٨٥) تقاوى هجن البصل فى بيوت بلاستيكية ، أبعادها ٥ × ١٦م . وكان محصول البذرة الهجين ومحصول بذرة السلالة الخصية الذكر المستعملة كأب أعلى -عندما استخدم النحل فى التلقيح- عما كانت عليه الحال عندما استخدمت الذبابة السروء . وقد بدا واضحاً فى هذه الدراسة أن النحل كان أكثر نشاطاً فى الجو الصحو ، وأن الذبابة كانت أقل نشاطاً عند ارتفاع درجة الحرارة داخل الأنفاق . وتتعارض هذه النتائج مع نتائج دراسة مماثلة ، أجريت على إنتاج بذور الكرنب بروكسل الهجين داخل الأنفاق ، والتى كانت فيها الذبابة السروء أفضل كثيراً من النحل ، الذى كان يميل إلى زيارة أزهار إحدى سلالتى الآباء فقط ، ولايتحرك بينهما لإتمام التلقيح .

أصناف الهجن المتعددة السلالات

تُعَرف أصناف الهجن المتعددة السلالات Composite Varieties بأنها : الأصناف التى تنتج من تهجينات مركبة بدرجة أكبر من الهجن الزوجية (الرباعية) مثل : تهجين هجين زوجى مع هجين فردى ؛ أو هجين زوجى مع هجين زوجى آخر ، أو هجين سداسى أو ثُمانى مع هجين فردى ، أو زوجى ، أو سداسى ، أو ثمانى ؛ فإذا استخدمت ثمان سلالات فى إنتاج الصنف .. فإن تكوين الصنف قد يكون على النحو التالى :

[[(أ × ب) × (جـ × د)] × [(هـ × و) × (ز × ح)]]

يشترط فى هذه السلالات أن تكون على درجة عالية من التوافق ، ولايستعمل الهجين المتعدد السلالات نفسه فى الزراعة التجارية ، بل يكثر بالتلقيح المفتوح ، ثم يستعمل لعدة أجيال فى الزراعة ، قبل إعادة تكوينه من جديد . وقد تستعمل مثل هذه الهجن المتعددة السلالات لبدء برنامج تربية بطريقة انتخاب النسب ، أو انتخاب التجميع (يراجع لذلك الفصل الحادى عشر) ولاتلزم -فى هذه الحالة- أن تكون السلالات متوافقة معًا ، وإنما يشترط أن تكمّل بعضها بعضاً فيما يتعلق بالصفات التى ينبغى توفرها فى الصنف الذى يراد إنتاجه .

الأصناف التركيبية Synthetic Varieties

تنتج الأصناف التركيبية (أو المخلقة) فى المحاصيل الخلطية التلقيح فقط ؛ لأن الصنف يتم تركيبه - أولا - من كل التهجينات الممكنة بين مجموعة من التراكيب الوراثية المتآلفة ، ثم يترك - بعد ذلك - للتلقيح المفتوح لإكثاره . وتُستَعمل الأصناف التركيبية - تجاريًا - لعدة أجيال قبل إعادة تركيبها من جديد . ويختلف الصنف التركيبى عن الأصناف المنتجة بطريقة الانتخاب الإجمالى فى أن الأول يُركب من تراكيب وراثية ، سبق اختبار قدراتها على التآلف فى كل التلقيحات الممكنة ، بينما يتكون الصنف الناتج من الانتخاب الإجمالى من تراكيب وراثية جديدة مخلوطة - معًا - دون سابق معرفة بقدرتها على التآلف .

وقد أنتجت الأصناف التركيبية فى محاصيل المراعى ، خاصة : البقولية ، والنجيلية ، كما أنتجت فى عباد الشمس ، والكرنب ، وغيره من الصليبيات ، ولكنها لم تكن ذات شأن كبير فى الذرة ، برغم أنه هو المحصول الذى أجريت عليه الدراسات الأساسية الخاصة بطريقة إنتاج الأصناف التركيبية .

خطوات إنتاج الصنف التركيبى

يمر الصنف التركيبى عند إنتاجه بالمراحل التالية :

١- اختيار الآباء :

غالباً ماتكون الآباء عبارة عن سلالات أصيلة مرباة داخلياً ، إلا أنها قد تكون على درجة أقل من الأصالة الوراثية ، وناتجة من التربية الداخلية بين نباتات النسل الواحد

(sibling) ، وقد تستعمل السلالات الخضرية . ويشترط فى الآباء أن تكون على درجة عالية من التآلف فى جميع التلقيحات الممكنة بين بعضها البعض . تلك هى المكونات الأساسية للصنف التركيبى ، وهى التى يطلق عليها اسم مكونات الأساس للصنف التركيبى أو Syn-O . ويتروح عدد الآباء التى تدخل فى تكوين الصنف التركيبى – عادة – من ٤–١٠ ، ويفضل العدد الكبير من السلالات مادامت السلالات على درجة عالية من التآلف . لكنه كثيراً مايصعب التوصل إلى هذا العدد من السلالات المتآلفة ، ويحسن – فى هذه الحالة – الاكتفاء بعدد أقل من السلالات على أن تكون على درجة عالية من التآلف .

٢– إنتاج الهجن الفردية :

تنتج كل الهجن الفردية الممكنة بين السلالات التى اختيرت ، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل هجين معًا . ويطلق على هذا الجيل اسم الجيل التركيبى الأول Syn-1 .

٣– تزرع بذور الجيل التركيبى الأول للتقييم ، وتترك للتلقيح الخلطى العشوائى ؛ لإنتاج الجيل التركيبى الثانى Syn-2 .

٤– تزرع بذور الجيل التركيبى الثانى للتقييم ، وتترك للتلقيح الخلطى العشوائى ؛ لإنتاج الجيل التركيب الثالث Syn-3 .

وتستعمل بذور الجيل التركيبى الثالث Syn-3 ، وبذور الجيل التركيبى الرابع Syn-4 فى الإنتاج التجارى . كما تستعمل –كذلك– بذور الجيل التركيبى الثانى فى الإنتاج التجارى ، عند إعادة تكوين الصنف . ولكن لاتستعمل بذور الجيل التركيبى الخامس ، أو الأجيال التركيبية التالية له فى الإنتاج التجارى .

اختبار القدرة على التآلف بين السلالات المكونة للصنف التركيبى

يتبع فى اختبار القدرة على التآلف للسلالات الداخلة فى تكوين الصنف التركيبى نفس الخطوات التى ذكرت آنفا بالنسبة لاختبار القدرة على التآلف فى الهجن الفردية ، علما بأن اختبار التلقيح القمى topcross يفيد كثيراً فى خفض عدد السلالات ، التى يلزم

اختبار قدرتها الخاصة على التآلف . كما يتبع اختبار آخر يعرف باختبار التلقيح المتعدد polycross test ، للوصول إلى نفس الهدف .

ويجرى الاختبار بزراعة جميع السلالات التي يُراد اختبار قدرتها على التآلف معًا ، في قطعة أرض معزولة وصغيرة نسبيًا ومقسمة إلى مساحات متساوية ، تتوزع فيها السلالات عشوائيًا مع تكرار زراعة كل منها في نفس العدد من المكررات . وأفضل التصميمات الإحصائية للاستعمال في هذا الاختبار تصميم القطاعات العشوائية الكاملة ، وتصميم المربع اللاتيني . ويعد العزل ضروريا ؛ حتى لاتصل إلى السلالات حبوب لقاح من أي مصدر آخر ، ويفيد صغر مساحة الحقل في جعل جيمع السلالات قريبة من بعضها ، حتى تتلقح معًا ، بينما يساعد التوزيع العشوائي للسلالات والمكررات على إعطاء كل منها فرصة متساوية لكي تلقح بأية سلالة أخرى ؛ وبذا .. فإن نسل كل نبات من السلالة يمثل هجيناً مع سلالة أخرى ، ويكون متوسط محصول نسل كل نباتات السلالة دالاً على قدرتها العامة على التآلف مع جميع السلالات الأخرى .

ويعاب على هذا الاختبار .. أن التزاوج العشوائي التام بين السلالات .. ربما لايحدث؛ لأسباب تتعلق باختلاف السلالات فيما يلي :

١- كمية حبوب اللقاح التي تنتجها كل منها .
٢- موعد انتشار حبوب اللقاح .
٣- درجة عدم التوافق بينها .
٤- مستوى التلقيح الذاتي في كل منها .
٥- ارتفاع نباتات السلالة ، ومدى تعرضها للرقاد .

تؤخذ كميات متساوية من البذور من مكررات كل سلالة ، وتخلط -معًا- لأجل اختبار نسل التلقيح المتعدد polycross progeny test . ويمكن -في هذه المرحلة- استبعاد أي من السلالات التي يتضح احتواؤها على أية صفة غير مرغوب فيها ، خاصة مايتعلق بالقابلية للإصابة بالأمراض والحشرات الهامة .

ويكون اختبار نسل التلقيح المتعدد في مكررات ، وفي أكثر من موقع تجريبي ؛ بغرض تقييم المحصول والصفات الكمية الهامة الأخرى . يُضمّن الاختبار - عادة - أهم

الأصناف التجارية المستعملة فى الزراعة المقارنة ؛ وبذلك .. يمكن تعرّف أفضل السلالات – وهى التى تتميز بالقدرة العالية على التوافق – أو يمكن على الأقل استبعاد نصف السلالات التى تكون أقل من غيرها ، وهى التى تعاد عليها الدراسة فى اختبار تلقيح متعدد جديد (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

وتجدر الإشارة إلى أن عدد توافيق الآباء (السلالات) – التى يمكن أن يتشكل من كل منها صنف تركيبى – تزيد بدرجة كبيرة مع كل زيادة فى عدد السلالات المتوفرة ؛ فيكون عدد الأصناف التركيبية الممكنة ١١ عندتوفر ٤ سلالات للاختيار منها ، و ٥٧ عند توفر ٦ سلالات ، و ٢٤٧ عند توفر ٨ سلالات ، و ١٠١٣ عند توفر ١٠ سلالات . والمعادلة العامة لذلك هى :

عدد الأصناف التركيبية الممكنة = $٢^{ن}$ – (ن + ١)

حيث تمثل (ن) عدد السلالات المتوفرة .

إنتاج بذور الجيل التركيبى الأول Syn-1

توجد طريقتان لإنتاج بذور الجيل التركيبى الأول ، هما :

١– إجراء كل التلقيحات الممكنة بين جميع السلالات المكونة للصنف التركيبى يدويًا ، ثم خلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح معًا .

٢– اتباع طريقة التلقيح المتعدد polycross method التى سبق بيانها . وتقتصر الزراعة – فى هذه الحالة – على السلالات التى يقع عليها الاختيار ؛ ليتكون منها الصنف التركيبى ، ثم تحصد بذور كل قطعة تجريبية على حدة ، ويلى ذلك .. خلط كميات متساوية من بذور كل وحدة تجريبية معًا . ويعنى ذلك خلط كميات متساوية من بذور تلقيحات كل سلالة مع جميع السلالات الأخرى ، وهى التى تكوّن الجيل التركيبى الأول . ويعيب هذه الطريقة .. احتمال عدم عشوائية التلقيح الخلطى بين السلالات ؛ للأسباب التى سبق بيانها .

التنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى الأجيال التى تستعمل فى الزراعة

أعطى Wright فى عام ١٩٢٢ المعادلة التالية ؛ للتنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى

الجيل التركيبى الثانى Syn-2 (عن Allard ١٩٦٠) :

$$\bar{F}_2 = \bar{F}_1 - \frac{(\bar{F}_1 - \bar{P})}{n}$$

حيث تمثل :

$\bar{F}_2$: المحصول المتوقع فى الجيل التركيبى الثانى Syn-2 .

$\bar{F}_1$: متوسط محصول الهجن الفردية التى تشكل – معًا – الجيل التركيبى الأول Syn-1 .

$\bar{P}$: متوسط محصول سلالات الآباء التى تكوّن مكونات الأساس للصنف أو Syn-0 .

n : عدد سلالات الآباء .

تعنى هذه المعادلة أن محصول الصنف التركيبى يقل فى الجيل التركيبى الثانى بمقدار $\frac{1}{n}$ من قوة الهجين ، وهى الفرق بين متوسط محصول الجيل التركيبى الأول Syn-1 ومتوسط محصول الآباء .

ومن المتوقع – نظريًا – ألا يختلف محصول الجيل التركيبى الثالث Syn-3 ، أو الرابع Syn-4 (وكذلك الأجيال التالية لذلك) عن محصول الجيل التركيبى الثانى ؛ لأن العشيرة تصل إلى حالة من التوازن الوراثى بعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى ، حسب قانون هاردى – فينبرج ، وهو التوازن الذى تصل إليه العشيرة فى الجيل التركيبى الثانى. ويختل هذا التوازن إن لم تتحقق شروط معينة للقانون ، سبق بيانها فى الفصل الثالث . هذا .. ولايكفى التبنؤ بمحصول الصنف المخلق من المعادلة ، بل يلزم إجراء التقييم لهذا الجيل عند إنتاج الصنف لأول مرة .

ولايمكن استخدام المعادلة السابقة فى التنبؤ بمحصول الصنف التركيبى فى الحالات التالية :

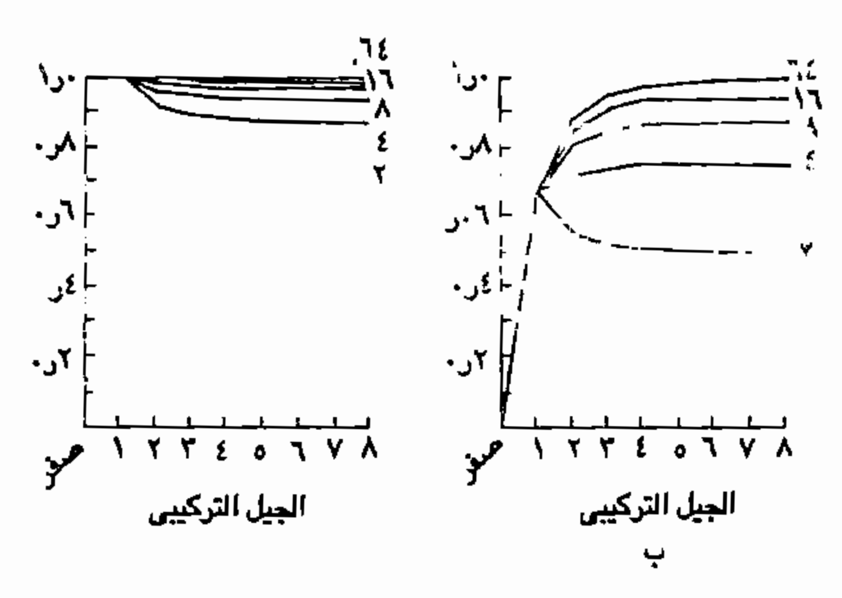
١– عند استخدام السلالات الخضرية فى إنتاج الصنف ؛ كما فى البرسيم الحجازى ، الذى لايتحمل التربية الداخلية .

٢– عندما لاتكون السلالات المستخدمة –كآباء– على درجة عالية من التربية الداخلية .

وتستعمل هذه السلالات -أحياناً- كبديل للسلالات الأصيلة ، التى يكون محصولها منخفضًا ؛ وذلك لتجنب ارتفاع سعر التقاوى .

وترجع أهمية هذه المعادلة إلى أن عدد الأصناف التركيبية -التى يمكن إنتاجها- يزيد زيادة كبيرة مع كل زيادة فى عدد السلالات المتوفرة ، كما سبق أن أسلفنا . وتفيد المعادلة فى التبنؤ بمحصول الصنف التركيبى قبل إنتاجه من واقع البيانات المتوفرة عن محصول سلالات الآباء والهجن الفردية الممكنة بينها ؛ وبذا .. يمكن اختيار السلالات التى يستدل - من تطبيق المعادلة عليها - أنها تعطى أفضل الأصناف التركيبية الممكنة محصولاً .

كما توصل Bubice & Gurgis فى عام ١٩٧٦ (عن Fehr ١٩٨٧) إلى معادلات مماثلة للتنبؤ بمحصول الأصناف التركيبية فى حالة النباتات المتضاعفة ذاتيا Autotetraploids. ويبين شكل (١٠-٣) التغير المتوقع فى قوة الهجين فى النباتات المتضاعفة خلال الأجيال التركيبية من الثانى Syn-2 إلى الثامن Syn-8 مقارنة بالجيل التركيبى الأول Syn-1 لدى تطبيق هذه المعادلات .



شكل (١٠ - ٣) : التغير المتوقع فى قوة الهجين خلال ثمانية أجيال من الإكثار المفتوح التلقيح لأصناف تركيبية نشأت من : (أ) آباء متضاعفة ذاتياً غير مرباة داخلياً ولاتربطها صلة قرابه ، (ب) آباء متضاعفة ذاتيًا أصيلة ، ولاتربطها صلة قرابة . هذا .. مع افتراض حدوث التلقيح العشوائى التام ، وانعدام التلقيح الذاتى . تدل الأرقام المبينة على يمين كل شكل على عدد الآباء التى تدخل فى تكوين الصنف (عن Fehr ١٩٨٧) .

وقد يتراوح عدد الآباء فى الصنف التركيبى من ٢ إلى أكثر من ١٠٠ . ويقل النقص فى قوة الهجين (عن الجيل التركيبى الأول Syn-I) مع زيادة عدد الآباء ، التى لاتربطها صلة قرابة ، والتى تدخل فى تكوين الصنف التركيبى . إلا أن زيادة عدد الآباء - التى لاتربطها قرابة - على ١٦ .. لايسهم كثيراً فى خفض النقص فى قوة الهجين (شكل ١٠-٣) . أما إذا كانت الآباء ترتبط ببعضها بصلة قرابة ، أو كانت قرابتها من بعضها غير معلومة .. فإنه يوصى -حينئذ- بزيادة عدد سلالات الآباء على ١٦ سلالة .

العوامل المؤثرة فى محصول الصنف التركيبى

يتأثر محصول الصنف التركيبى فى الجيل التركيبى الثانى Syn-2 ، والأجيال التالية - وهى التى تستعمل تجاريًا - بالعوامل التالية :

١- عدد سلالات الآباء :

فكلما زاد عدد السلالات .. قل مقدار المفقود فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى ؛ حسب معادلة Wright ؛ وعليه .. فإنه تفضل السلالات الكثيرة ، إلا أن ذلك يتداخل مع العامل الثانى .

٢- متوسط محصول الهجن الفردية :

فكلما زاد محصول الهجن الفردية .. قل مقدار المفقود فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى ، حسب المعادلة أيضًا ... إلا أن محصول الهجن الفردية يتوقف على درجة التآلف بين جميع سلالات الآباء . ويصعب -عادة- إيجاد عدد كبير من السلالات المتوافقة معًا بدرجة عالية ؛ لذا .. فإنه يفضل -غالباً- الاكتفاء بعدد أقل من السلالات التى توجد بينها درجة عالية من التوافق .

٣- متوسط محصول سلالات الآباء :

فكلما زاد متوسط محصول سلالات الآباء .. قل مقدار المفقود فى قوة الهجين فى الجيل التركيبى الثانى . ويتعارض هذا العامل - كذلك - مع العامل الأول الخاص بعدد السلالات ؛ لصعوبة إيجاد عدد كبير من السلالات العالية المحصول .

هذا .. ومن المعروف أنه يمكن التنبؤ بالقدرة العامة على التآلف فى النباتات التى لم تخضع بعد للتربية الداخلية (نباتات جيل الـ S_0) ، كما سبق أن أوضحنا تحت موضوع القدرة على التآلف ؛ وعليه .. فإن زيادة القدرة على التآلف أمر ممكن . وربما يكون من الأفضل استعمال سلالات على درجة أقل من التربية الداخلية - مادم فى الإمكان اختبار قدرتها على التآلف - علما بأن هذه السلالات تكون أعلى محصولاً من السلالات التى أُخضعت للتربية الداخلية لعدة أجيال . وقد اقترح Jenkins إنتاج الأصناف التركيبية بهذه الطريقة ، كما يلى :

١- عزل سلالات من نسل النباتات الملقحة ذاتيًا لجيل واحد S_1 .

٢- اختبار القدرة العامة على التآلف لهذه السلالات بالاختبار القمى top cross بالنسبة للصفات الهامة ، خاصة المحصول .

٣- تهجين السلالات التى تتميز بقدرتها العالية على التوافق معًا ؛ لإنتاج الجيل التركيبى الأول ؛ ثم تستمر خطوات إنتاج الصنف التركيبى بعد ذلك بالطريقة العادية .

٤- تكرر الخطوات السابقة ، بعد كل جيلين من التلقيح الخلطى المفتوح للصنف التركيبى .

ولاشك فى أن من أهم عيوب هذه الطريقة عدم إمكان إعادة إنتاج الصنف التركيبى كما كان ؛ لأن السلالات التى تستعمل فى تكوينه ليست صادقة التربية .

وقد يستغنى عن التربية الداخلية كلية ، كما هى الحال فى الأنواع التى تتكاثر خضريا، وهى التى تستعمل فيها السلالات الخضرية كآباء . ورغم أن هذه الآباء تكون عالية المحصول - وينعكس ذلك إيجابيًا على محصول الصنف المخلق - إلا أنها تكون خليطة وراثيًا ، وهو ما يعنى توقع بعض التغيرات الطفيفة فى صفات الصنف التركيبى ، كلما أعيد إنتاجه .

إعادة تكوين الأصناف التركيبية

نادراً مايستعمل الصنف التركيبى بعد الجيل التركيبى الرابع Syn-4 ؛ بسبب احتمال تغير الهيكل الوراثى للصنف ؛ نتيجة لتعرضه لعوامل الانتخاب الطبيعى ؛ ويعنى ذلك ضرورة إكثار السلالات التى تدخل فى تكوين الصنف ، والمحافظة عليها ؛ ليمكن إعادة

إنتاجه في أي وقت . ولايمر الصنف – عند إعادة إنتاجه – بمراحل التقييم المختلفة التي يمر بها عند إنتاجه لأول مرة ؛ حيث يمكن – عند إعادة الإنتاج – استعمال الجيل التركيبي الثاني في الزراعة التجارية ... إلا أن المربي قد يرى إضافة – أو استبعاد – بعض السلالات عند إعادة تكوين الصنف ، ويلزم – في هذه الحالة – إعادة التقييم من جديد .

ويمكن إحداث تقدم سريع في الأصناف التركيبية ؛ بإخضاعها لدورة أو دورتين من الانتخاب المتكرر (يراجع لذلك الفصل الحادي عشر) ، بعد إكثارها لعدة سنوات . كما يمكن استخدام الصنف التركيبي في بدء دورة من التربية الداخلية والانتخاب ؛ لإنتاج سلالات لصنف تركيبي جديد .

مزايا الأصناف التركيبية

تتوفر في الأصناف التركيبية المزايا التالية :

١– تتحمل الأصناف التركيبية التقلبات الجوية بدرجة أكبر من درجة تحمل الهجن الزوجية ؛ بسبب كثرة الاختلافات الوراثية فيها عما في الأصناف الهجين؛ فبينما تتلقى الهجن الزوجية العوامل الوراثية من سلالات الآباء الأربعة فقط .. نجد أن فرصة التلقيح الخلطي المفتوح تتيح لنباتات الجيلين التركيبيين الثالث والرابع تلقي عوامل وراثية من أكبر عدد ممكن من سلالات الآباء الداخلة في تكوين الصنف التركيبي .

٢– تقل تكاليف إنتاج بذور الصنف التركيبي عن الهجن الزوجية ؛ لكونها تستعمل لعدة أجيال ؛ وعليه .. فإنه يفضل استعمالها في المناطق التي لم تقم فيها برامج لإنتاج الذرة الهجين .

٣– تفضل الأصناف التركيبية في المحاصيل ذات الأجزاء الزهرية الصغيرة ، التي يصعب إجراء التهجين فيها ، كما في بعض محاصيل العلف . أما في الذرة .. فقد فاق استخدامُ الهجن الأصنافَ التركيبيةَ ، إلا أن الأخيرة يمكن الاستفادة بها كمستودع للجينات المرغوب فيها .

مقارنة بين الأصناف الهجين ، وأصناف الهجين المتعدد السلالات ، والأصناف التركيبية

يبين جدول (١٠-٢) مقارنة بين الأصناف الهجين Hybrid Varieties وأصناف الهجن المتعددة السلالات Composites ، والأصناف التركيبية Synthetic Varieties (عن Chaudhari ١٩٧١) .

جدول (١٠-٢) : مقارنة بين الأصناف الهجين ، وأصناف الهجن المتعددة السلالات Composites ، والأصناف التركيبية .

وجه المقارنة	الأصناف الهجين	الهجن المتعددة السلالات	الأصناف التركيبية
عدد سلالات الآباء	٢ - ٤	٦ أو أكثر	٤ - ١٠
التلقيح بين السلالات	متحكم فيه	متحكم فيه	عشوائى
الخلفية الوراثية	ضيقة	عريضة	عريضة
قوة الهجين	عالية	عالية	أقل
تكلفة الإنتاج	عالية	أكثر تكلفة	أقل تكلفة منهما
استعمال البذور	تنتج سنويًا	تكثر بالتلقيح المفتوح لعدة سنوات	تكثر بالتلقيح المفتوح لعدة سنوات
جهود المحافظة على الصنف	كبيرة	أكبر	أقل
الانتشار	منتشرة	غير منتشرة	غير منتشرة

الفصل الحادى عشر

طرق التربية بالتهجين والانتخاب

نتناول بالدراسة فى هذا الفصل طرق التربية التى تعتمد على التهجين بين تراكيب وراثية معينة ، ثم الانتخاب فى الأجيال الانعزالية . وقد يجرى التهجين مرة واحدة فى بداية برنامج التربية كما فى طريقتى انتخاب النَّسَبْ وانتخاب التجميع ، أو قد يتكرر عدة مرات خلال برنامج التربية كما فى طريقة الانتخاب المتكرر .

انتخاب النَّسَبْ

تتبع التربية بطريقة انتخاب النَّسَبْ Pedigree Selection فى تحسين كل من النباتات الذاتية التلقيح ، والنباتات الخلطية التلقيح ، التى لاتتدهور بالتربية الداخلية – كالقرعيات – ؛ لأن التلقيح الذاتى ضرورى فى جميع مراحل التربية . ويجرى برنامج التربية بتلقيح صنفين أو سلالتين –أو أكثر– معًا – بغرض جمع صفات مرغوب فيها فى تراكيب وراثية جديدة ، مع تسجيل نَسَبْ النباتات فى جميع الأجيال التالية للتلقيح الأول . ونبين – فيما يلى– الخطوات التفصيلية لمراحل التربية بهذه الطريقة .

اختيار الآباء

يعنى بالآباء : الأصناف أو السلالات التى تهجن –معًا– لبدء برنامج التربية . ويتعين

لاختيارها تحديد الهدف من برنامج التربية ، والصفات التى يرغب المربى فى تجميعها - معًا - فى الصنف الجديد . ويكون أحد الآباء - عادة - هو الصنف الشائع فى الزراعة التجارية ، ويكون الأب الثانى مكملاً له فى الصفة - أو الصفات - التى يُرغب فى تحسينها فى الصنف التجارى . وقد يتطلب الأمر إدخال أب ثالث ، أو رابع فى التلقيحات ، لإضافة الصفات المرغوب فيها ، وهذا هو الأمر الغالب بالنسبة لمعظم الأصناف المنتجة حديثاً . ولايدل مظهر الآباء - عادة - على قدرتها على التآلف وتكوينها لانعزالات جيدة مرغوب فيها عند تهجينها معًا ؛ لذا .. فإن تحديد الهجن التى تعطى انعزالات جيدة يعد أولى مهام المربى فى برنامج التربية .

تهجين الآباء وزراعة الجيل الأول

قد يبدأ برنامج التربية بتهجين فردى (فى حالة استعمال سلالتين فقط كآباء) ، أو هجين ثلاثى (فى حالة استعمال ثلاث سلالات) ، أو هجين زوجى (فى حالة استعمال أربع سلالات) ، أو هجين متعدد السلالات Composite ناتج من تلقيح متعدد multiple cross (عندما يزيد عدد السلالات المستعملة على ست ؛ يراجع الموضوع فى الفصل العاشر) . وقد يرغب المربى فى إجراء التحسين المطلوب على مرحلتين ، بدلاً من محاولة تجميع عدد كبير من الصفات المرغوب فيها مرة واحدة ؛ حيث يكتفى -فى هذه الحالة- بتهجين عدد أقل من الآباء ، ثم تُهجن السلالات المحسنة الناتجة من برنامج التربية مع سلالات أخرى تحتوى على بقية الصفات المرغوب فيها .

وفى محاولة للتوصل إلى أفضل طريقة لتهجين ثلاث سلالات (هى : A ، و B ، و C) تحتوى كل منها على جين واحد سائد مرغوب فيه يراد تجميعها فى صنف جديد .. قارن Bos (١٩٨٧) - فى مثال نظرى - بين كفاءة ثلاث طرق للتهجين - وهى المبينة فى شكل (١١-١) - لأجل التوصل إلى التركيب الوراثى الأصيل السائد فى الجينات الثلاثة المرغوب فيها فى حالات : الانتخاب ، أو عدم الانتخاب فى الجيل الثانى ، والتلقيح الذاتى فى الجيل الثانى وفى الأجيال التالية ، أو التزاوج العشوائى فى الجيل الثانى ثم التلقيح الذاتى فى الأجيال التالية

وقد توصل Bos إلى أن طرق التهجين الثلاث تتطلب جهداً واحداً لإنتاج كمية البذور

اللازمة فى الجيل الأول (يراجع شكل ١١-١) ، وأنها تعطى نسبة واحدة هى $\frac{١}{٣٢}$ (أو ٠,٠٣١٣) من النباتات ذات التركيب الوراثى الأصيل السائد المرغوب فيه فى غياب الانتخاب والتزاوج العشوائى بين نباتات الجيل الثانى . أما فى حالة غياب الانتخاب مع وجود التزاوج العشوائى .. فإن طريقة التهجين الثالثة تعطى نباتات من التركيب الوراثى المرغوب فيه بنسبة تزيد بمقدار ٨,٣٪ على الطريقتين الأولى ، والثانية للتهجين . وفى وجود الانتخاب مع غياب التزاوج العشوائى بين نباتات الجيل الثانى .. فإن طريقتى التهجين الثانية ، والثالثة تزيدان على طريقة التهجين الأولى بمقدار ٢٠٪ فى إعطاء التركيب الوراثى المرغوب فيه فى الأجيال التالية للجيل الثانى . وأخيراً .. فإنه فى وجود كل من الانتخاب والتزاوج العشوائى .. تزيد طريقة التهجين الثانية على الأولى بمقدار ٢١٪ ؛ وتفوق طريقةُ التهجين الثالثة الأولى بمقدار ٢١٪ ؛ أى تفضل طريقتا التهجين الثانية والثالثة فى حالة الانتخاب أو التزاوج العشوائى فى الجيل الثانى ، أو فى حالة وجودهما معًا .

طريقة التهجين	الأولى	الثانية	الثالثة
الموسم الأول	A × B	A × C B × C	A × B A × C B × C B × A C × A C × B
الموسم الثاني	AB × C	AC × BC	AB × AC BC × AB AC × BC
	F1	F1	F1

شكل (١١-١) : الطرق الممكنة لإنتاج الجيل الأول الناتج من تهجين ثلاث سلالات معاً لبدء برنامج تربية بالتهجين والانتخاب .

ولايلزم تسجيل أرقام النباتات المستعملة فى كل تلقيح إذا كانت هذه النباتات من سلالة نقية واحدة ، ولكن نظراً لأن عشائر النباتات الذاتية التلقيح تتكون - عادة - من خليط من السلالات النقية المختلفة وراثيًا ؛ لذا .. يلزم إجراء عدد كبير من التلقيحات ، مع تسجيل رقم كل نبات فى هذه التلقيحات الأولية ؛ ليمكن الاحتفاظ بنَسَب كل تلقيح منفصلاً عن الآخرين .

هذا .. ويلزم إنتاج كمية من بذور الجيل الأول ، تكفى للحصول على العدد اللازم من نباتات الجيل الثانى ، ولعمل مخزون من بذور الجيل الأول يكفى لإعادة الزراعة فى حالة فشل الزراعة الأولى .

تزرع بذور الجيل الأول ؛ للحصول على بذور الجيل الثانى . ويجب مقارنة نباتات الجيل الأول بالآباء ؛ للتأكد من كونها هجناً فعلاً .

الجيل الثانى

يزرع عدد من نباتات الجيل الثانى يقدر بنحو ١٠ - ١٠٠ مثل عدد العائلات ، التى ينتظر انتخابها فى الجيل الثالث ، ويتوقف ذلك على مدى سهولة إجراء عملية التقييم فى الجيل الثانى ؛ حيث يزيد العدد كلما كان التقييم أسهل . كما تزيد النسبة كلما ازدادت الاختلافات بين الآباء المهجنة معًا ... مع العلم أنه تنتخب - عادة - ٥٠ سلالة على الأقل فى الجيل الثالث . وتجدر الإشارة إلى أن الجيل الثانى هو الجيل الذى يحدث فيه القدر الأكبر من الاختلافات الوراثية ، وأن كل ما يظهر من اختلافات -بعد ذلك- ما هو إلا تكرار لما يظهر فى الجيل الثانى .

تزرع نباتات الجيل الثانى على مسافات واسعة نسبيًا ؛ ليمكن ملاحظة كل نبات وتقييمه منفرداً . كما يزرع خط من صنف اختبارى check variety كل ١٠ خطوط للمقارنة . ويعد الصنف التجارى الشائع فى الزراعة هو أفضل الأصناف الاختبارية .

وإذا كان اختيار الآباء الداخلة فى التهجين الأول يحدد الحد الأقصى للتحسين الممكن فى الصنف الجديد .. فإن انتخاب النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها - خاصة فى الأجيال الانعزالية الأولى - يكون ذا تأثير أكيد على إمكان الوصول إلى هذا الهدف من عدمه ؛ لذا .. فإن المربى يجب أن يكون على دراية تامة بالصفات الطبيعية والفسيولوجية للمحصول الذى يقوم بتحسينه ، ويعرف مدى تأثرها بالعوامل البيئية ؛ بحيث يمكنه تمييز الاختلافات الوراثية المرغوب فيها التى يؤمَّل فيها خيراً ، بمجرد الفحص المظهرى .

ويفيد الانتخاب فى الجيل الثانى فى التنبوء بمحصول الأجيال التالية فى بعض المحاصيل ؛ كالقمح ، والشعير ، وغيرها من الحبوب الصغيرة ، بينما لم يمكن التوصل

إلى علاقة كهذه فى محاصيل أخرى ؛ كفول الصويا . ويستنتج من ذلك أن الانتخاب فى الأجيال الانعزالية الأولى ليس قاعدة للتميز بين الهجن الممتازة فى كل المحاصيل .

وكقاعدة عامة .. فإنه لايمكن الاعتماد على مظهر النباتات فى الجيل الثانى للتنبؤ بالمحصول فى الأجيال التالية ؛ خاصة أنها تكون مزروعة على مسافات واسعة . ويجرى الانتخاب فى هذا الجيل للصفات ذات درجات التوريث المرتفعة ؛ مثل الصفات النوعية والمقاومة للأمراض . ويمكن – بعد ذلك فى الجليلين الثالث والرابع – الانتخاب بفاعلية للصفات ذات درجات التوريث المتوسطة . أما الانتخاب للمحصول .. فلايجرى بفاعلية إلا بعد الجيل الرابع .

ولاتسمح الظروف البيئية –فى أغلب الأحيان– بظهور الصفات المرغوب فيها ، وتمييزها عن الصفات غير المرغوب فيها ؛ مثل صفات المقاومة للأمراض ، والحشرات ، والصقيع ، والرقاد .. إلخ ؛ حيث يلزم فى هذه الحالات تعريض النباتات للظروف التى تسمح بظهور الصفات المرغوب فيها ؛ كأن تعرض للعدوى الصناعية بالآفات بدلا من الاعتماد على الإصابة الطبيعية التى ربما لاتحدث فى الوقت المناسب ، أو بالشدة الكافية ، أو بالسلالة المطلوبة. وقد يجرى الانتخاب فى ظروف يمكن التحكم فيها داخل البيوت المحمية (الصوبات) . ويعيب ذلك قلة عدد النباتات التى يمكن اختبارها ، إلا إذا أجرى الاختبار على النباتات وهى فى طور البادرة ؛ وبذا .. يمكن تقييم عدد كبير منها فى وقت قصير نسبيًا .

تُزال نباتات الجيل الثانى التى تبدو غير مرغوبة – مظهريًا – بمجرد ملاحظتها ، وتنتخب من النباتات المتبقية ما يتميز منها بقوة النمو وبالصفات المرغوبة . ورغم أن حالة الخلط (عدم التماثل) الوراثى heterozygosity تؤثر فى الانتخاب فى هذه المرحلة .. إلا أن اختبارات النسل فى الجيل الثالث تؤدى إلى التخلص من حالات قوة النمو التى يكون مردها إلى الخلط الوراثى . هذا .. وتكون بداية الانتخاب فى الحقل ثم يُستبعَد مزيد من النباتات بعد الاختبارات المعملية

يجب أن يكون الانتخاب فى هذه المرحلة حاسمًا ، ويعتمد على الاختبارات ، والخبرة الشخصية للمربى ، وقدرته على الملاحظة الدقيقة . ويجب على المربى المبتدئ أن يتغلب

على الشعور بأن النباتات المرغوب فيها قد تظهر فى نسل النباتات التى يجرى استبعادها فى الجيل الثانى ؛ لأن عدم التخلص من هذا الشعور يعنى زيادة حجم العمل المطلوب بشدة فى الأجيال التالية إلى درجة تستنفذ معها كل وقت المربى وجهده .

يُحتفظ فى هذا الجيل – وكذلك فى الأجيال التالية – بسجلات كاملة للنسب ، تدون فيها أرقام النباتات المنتخبة فى الجيل الثانى (وأرقام العائلات والسلالات المنتخبة فى الأجيال التالية) ، بحيث يمكن تتبع نَسَبْ أى نبات فى أى جيل . ويجب أن تتضمن السجلات بيانات عن كل الصفات الهامة ؛ مثل قوة النمو ، وموعد النضج ، والمقاومة للآفات ... إلخ ، مع تسجيل لكمية المحصول فى الأجيال المتأخرة .

الأجيال الثالث والرابع والخامس

تزرع بذور الجيل الثالث (وكذلك بذور الجيل الرابع بعد ذلك) على مسافات أوسع مما فى الزراعة التجارية ، ولكن أضيق مما فى الجيل الثانى . ويزرع – عادة – من ١٠–٣٠ نباتاً – أو أكثر – من نسل كل نبات منتخب فى الجيل الثانى ، ويكون كل نسل فى خط واحد . وتعد هذه الخطوط عائلات الجيل الثالث F3 families . ويراعى أن يكون عدد النبات فى كل عائلة بالقدر الذى يسمح بتحديد درجة الخلط الوراثى فيها . كما يزرع خط من أحد الأصناف الاختبارية فى مقابل كل ١٠ خطوط للمقارنة .

وتتحدد – فى الجيل الثالث – قيمة التلقيح ؛ فإن لم تظهر فيه نباتات تحمل جميع الصفات المرغوب فيها .. فإنه يكون من المفضل إعادة البرنامج من جديد .

يتم الانتخاب فى الجيل الثالث على أساس أفضل النباتات فى أفضل العائلات ؛ فتُحدد – أولاً – أفضل العائلات ، ثم تنتخب منها أحسن النباتات . كما يجب أن تؤخذ فى الحسبان كذلك النباتات الممتازة ، التى قد توجد فى عائلات ضعيفة . ويستبعد جزء آخر من النباتات بعد الفحص المختبرى ؛ بحيث لايزيد عدد النباتات المنتخبة على عدد عائلات الجيل الثالث .

تعامل نباتات الجيل الرابع معاملة نباتات الجيل الثالث . وإذا ظهر أن بعض عائلات الجيل الرابع قد نشأت من نبات واحد مشترك فى الجيل الثانى ، وكان سلوك العائلات

متشابهاً في الجيلين الثالث والرابع .. فإنه يمكن في هذه الحالة استبعاد بعض هذه العائلات مادامت متماثلة .

وتعامل نباتات الجيل الخامس معاملة نباتات الجيل الرابع ، إلا أنها تزرع على مسافات مشابهة لتلك المتبعة في الزراعة التجارية ، وتكون المساحة المخصصة لكل عائلة أكبر حتى يمكن الانتخاب لصفة كمية المحصول . وجدير بالذكر .. أن الانتخاب حتى هذه المرحلة يجرى على أساس النباتات الفردية ؛ أى على أساس اختيار أفضل النباتات من أحسن العائلات ، وزراعة بذورها منفصلة .

زراعة الجيل السادس إلى الجيل الثانى عشر

يبدأ من الجيل السادس الانتخاب على أساس السلالات ؛ لأنها تكون قد وصلت إلى درجة عالية من التجانس الوراثي ، وذلك بعد أن أجرى الانتخاب على أساس النباتات الفردية مع التلقيح الذاتي للنباتات المنتخبة من الجيل الثاني إلى الجيل السادس . ويتم تحديد أفضل العائلات ، ثم تحصد بذور جميع نباتات كل عائلة معًا ، وهى التى يطلق عليها – من الآن فصاعداً – اسم سلالة line (يعتبر البعضُ العائلة مجموعة من السلالات ، تمثل أنسال نباتات ، انتخبت من نسل نبات واحد في الجيل السابق) .

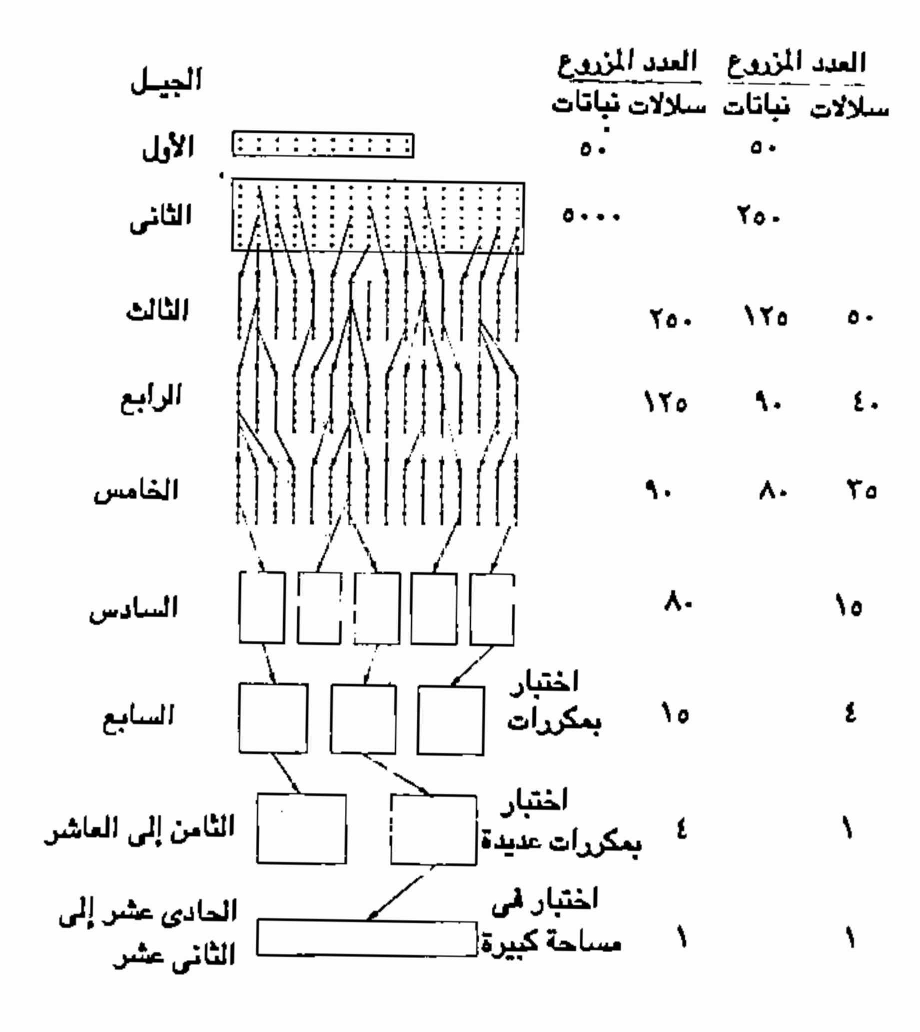
وتكون زراعة سلالات الجيل السادس (أنسال النباتات الفردية المنتخبة من الجيل الخامس) في مساحات كبيرة نسبيًا ؛ بدرجة تسمح بدراستها دراسة وافية ، ويفضل أن تكون زراعتها في مكررات إذا وجدت كميات كافية من البذور لذلك . ويبدأ –في هذا– الجيل تسجيل بيانات وافية عن كمية المحصول ، وتؤخذ بيانات وافية عن الصفات الاقتصادية الهامة في كل من الحقل والمختبر ، يتم على أساسها تخفيض عدد العائلات المنتخبة إلى ١٥ عائلة كحد أقصى ، وهى التى تحصد بذورها معًا ؛ لتعطى سلالات الجيل السابع .

وتزرع سلالات الجيل السابع في مكررات ، مع مقارنتها بالأصناف التجارية الهامة . وتؤخذ بيانات عن المحصول وجميع الصفات الاقتصادية الهامة ، وتحلل النتائج إحصائيًا . وبناء على النتائج المحققة .. تخفض عدد السلالات المنتخبة إلى ٤-٥ سلالات فقط .

وتعامل الأجيال من الثامن إلى العاشر معاملة الجيل السابع ، مع امتداد الاختبارات

إلى مناطق الإنتاج المختلفة . وبناء على النتائج المُحققة .. تخفض عدد السلالات المنتخبة إلى سلالة واحدة أو سلالتين فقط .

يزرع الجيلان الحادى عشر والثانى عشر فى تجارب موسعة على مساحة\فدان أو أكثر (الفدان = ٤٢٠٠م٢ = ٠,٤٢ هكتار) بالطرق المتبعة فى الزراعة التجارية ، مع مقارنتها بالأصناف الهامة . وبناء على النتائج المُحققة .. يتم الاختيار النهائى لسلالة واحدة ، تعطى اسماً ؛ لتصبح بذلك صنفاً جديداً (شكل ١١-٢) .



شكل (١١-٢) : تخطيط لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب النسب .

التقييم النهائى

يجرى التقييم النهائى للصنف الجديد فى عدة مناطق ، وعلى مدى عدة سنوات ، إلى أن يتأكد المربى من تفوقه على الأصناف المستعملة فى الزراعة التجارية . ويكتفى المربى - عادة - بتقييم الصنف الجديد فى خمس مناطق رئيسية من مناطق إنتاج المحصول ، وعلى مدى خمس سنوات .

مزايا طريقة التربية بانتخاب النَّسَب وعيوبها

تتميز التربية بطريقة انتخاب النَّسَب بما يلى :

١- يمكن عن طريقها إجراء مقارنة دقيقة بين السلالات من واقع سجلات النسب ، ويمكن الاستفادة من ذلك فى توسيع رقعة الاختلافات الوراثية بين السلالات خلال مراحل الانتخاب .

٢- يكون التقييم والانتخاب على أساس سلوك النباتات والعائلات والسلالات فى الأجيال السابقة ، وهى التى يمثل كل منها موسمًا زراعيًا مختلفاً ؛ مما يسمح بظهور الاختلافات الوراثية للصفات الهامة .

٣- تسمح هذه الطريقة بالتخلص من معظم التراكيب الوراثية غير المرغوب فيها فى الأجيال الأولى لبرنامج التربية و قبل الوصول إلى مراحل التقييم الموسعة للسلالات التى يتم انتخابها .

٤- تسمح هذه الطريقة -كذلك- بدراسة وراثة بعض الصفات الهامة من واقع البيانات المتجمعة فى سجلات النسب .

أما عيوب هذه الطريقة .. فهى كثرة الوقت والجهد الذى تتطلبه من المربى للاحتفاظ بسجلات النسب ، وزيادة مساحة الأرض التى تلزم لإجراء برنامج التربية . كما أن هذه الطريقة لاتسمح بزراعة بعض أجيال التربية فى غير المواسم الزراعية المعتادة التى تظهر فيها صفات المحصول ، وهو مايعنى زيادة برنامج التربية عدة سنوات بالنسبة لطرق التربية الأخرى .

طرق التربية المحورة من طريقة انتخاب النسب

أدخل بعض المربين تحورات -بعضها جذرى- على التربية بطريقة انتخاب النسب . وتهدف هذه التحورات إما إلى إبطاء الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية ، مع زيادة الفرصة لظهور الانعزالات المرغوب فيها ، وإما إلى تسهيل عملية الوصول إلى الأصالة الوراثية قبل بدء عملية الانتخاب . ونذكر -فيما يلى- أهم هذه التحورات .

انتخاب النسب المتكرر

يجرى انتخاب النسب المتكرر Recurrent-Pedigree Selection فى الحالات التى يسهل فيها إجراء التلقيحات ، وعندما يعطى كل تلقيح عدداً كبيراً من البذور . لاتختلف هذه الطريقة عن انتخاب النسب العادى ، إلا فى الأجيال المبكرة لعملية الانتخاب حيث تلقح النباتات المنتخبة مع بعضها بصورة منظمة ، أو بشكل عشوائى ، ثم يستمر برنامج التربية بطريقة انتخاب النسب بشكل عادى بعد ذلك . وتؤدى عملية تلقيح النباتات المنتخبة - معًا - إلى إبطاء الوصول إلى حالة الأصالة الوراثية ، مع زيادة فرصة ظهور انعزالات فائقة .

انتخاب النسب الرجعى

يجرى انتخاب النسب الرجعى Backcross-Pedigree Selection عندما يفوق أحد الأصناف التى يبدأ بها برنامج التربية بدرجة ملحوظة الأصناف الأخرى ؛ حيث يفضل - حينئذ - تلقيح الجيل الأول والجيل الثانى -وربما الجيل الثالث أيضًا- رجعيًا إلى الأب الفائق ؛ بغرض استرجاع أكبر قدر من صفاته ، ويستمر برنامج التربية - بعد ذلك - بطريقة انتخاب النسب بشكل عادى ؛ لإعطاء الفرصة لظهور انعزالات فائقة الحدود .

التحدر من بذرة واحدة

كان Goulden هو أول من اقترح هذه الطريقة لتحسين القمح فى عام ١٩٤١ ؛ كبديل لطريقة انتخاب النسب العادية ، ولكنه لم يسمها بهذا الاسم . ولم يظهر الإسم الذى عرفت به هذه الطريقة - وهو التحدر من بذرة واحدة إلا فى سنة ١٩٦٢ ؛ بواسطة Johnson & Bernard . وكان Brim هو أول من استعملها فى برنامج للتربية (لتحسين فول الصويا)

فى عام ١٩٦٦ ، ولكنه أشار إليها كطريقة انتخاب نسب محورة modified pedigree method (عن Fehr ١٩٨٧) .

تتلخص الطريقة الكلاسيكية للتحدر من بذرة واحدة Single Seed Descent كما اقترحها Brim فى عام ١٩٦٦ (عن Gritton ١٩٨٦) لتحسين فول الصويا فى زراعة عدد من نباتات الجيل الأول يكفى لإنتاج ٥٠٠ بذرة أو أكثر من الجيل الثانى ؛ تحصد بذرة واحدة من كل نبات من الجيل الثانى ، وتخلط معًا وتزرع لإنتاج الجيل الثالث . وتكرر هذه العملية حتى الجيل السادس . حينئذ تستبعد النباتات التى تبدو غير مرغوبة من شكلها الظاهرى، وتنتخب النباتات التى تبدو فائقة مظهريًا لمزيد من التقييم بعد ذلك . هذا .. علما بأن السلالات الرديئة جداً .. يمكن أن يجرى استبعادها أولا بأول ، قبل الوصول إلى الجيل السادس .

وتعد هذه الطريقة من أسهل الطرق للوصول إلى الأصالة الوراثية بأقل جهد . كما يمكن اختصار الوقت بزراعة جيلين أو أكثر فى كل عام ، يكون أحدهما فقط تحت ظروف الحقل ، وتكون الأجيال الأخرى فى البيوت المحمية ، دونما اعتبار لتأثير الظروف البيئية على الشكل الظاهرى . ويمكن اختصار الوقت اللازم للوصول إلى الأصالة الوراثية بحصاد البذور أو الثمار ، بعد تكون الأجنة مباشرة ، ثم فصل الأجنة منها وزراعتها فى بيئات خاصة . ويعقب الوصول إلى الأصالة الوراثية الاستمرار فى التربية بأى نظام للانتخاب . وتناسب هذه الطريقة كلا من النباتات الذاتية التلقيح والخلطية التلقيح (التى لاتتدهور بالتربية الداخلية) ، مع إخضاعها – بطبيعة الحال – للتلقيح الذاتى الصناعى .

توجد ثلاث طرق رئيسية لتطبيق مبدأ التحدر من بذرة واحدة للوصول إلى الأصالة الوراثية ، وهى كما يلى :

١- طريقة البذرة الواحدة Single-Seed Procedure :

تلك هى الطريقة الكلاسيكية التى سبق وصفها . ويجب أن يراعى – عند اتباعها – أن عدد النباتات المزروعة يقل – تدريجيًا – جيلاً بعد جيل ، إما بسبب عجز بعض النباتات عن عقد البذور ، وإما لعدم قدرة بعض البذور على الإنبات ؛ لذا .. فإن هذا الأمر يجب أن يؤخذ فى الحسبان منذ البداية ، بحيث يتوفر للمربى فى نهاية الأمر العدد المطلوب من

السلالات الأصيلة التى يرغب فى تقييمها .

ولحساب عدد البذور التى ينبغى زراعتها فى كل جيل يلزم أن نبدأ بالجيل الأخير ، ثم نعود إلى الخلف حتى الجيل الثانى ، كما يتطلب الأمر افتراض نسبة معينة لبذور النباتات التى تنبت وتعطى نباتاتها بذرة واحدة على الأقل فى كل جيل ؛ فلو فرض أن كانت هذه النسبة ٨٠٪ ، وكان المطلوب هو توفر ٢٠٠ سلالة فى الجيل الخامس .. فإن ذلك يعنى ضرورة زراعة ٢٥٠ بذرة (٢٠٠ ÷ ٠,٨ = ٢٥٠) فى الجيل الخامس ، و ٣١٣ بذرة (٢٥٠ ÷ ٠,٨ = ٣١٢,٥) فى الجيل الرابع ، و ٣٩٢ بذرة (٣١٣ ÷ ٠,٨ = ٣٩١,٣) فى الجيل الثالث ، و ٤٩٠ بذرة (٣٩٢ ÷ ٠,٨ = ٤٩٠) فى الجيل الثانى .

ويلزم حصاد عينة أخرى إضافية (بذرة إضافية) من كل نبات فى كل جيل ، تخلط – معًا – للاحتياط فى حالة فشل الزراعة . ويمكن –فى حالة فول الصويا مثلا– حصاد قرن واحد به ٢–٣ بذرات من كل نبات ؛ حيث تستعمل من كل قرن بذرة واحدة ، ويحتفظ ببقية البذور كاحتياطى .

وتجدر الإشارة إلى أن طريقة البذرة الواحدة تعنى أن كل نبات فى الجيل الأخير ينتسب إلى نبات مختلف من نباتات الجيل الثانى ، إلا أنها لاتسمح بتمثيل كل نبات من الجيل الثانى فى الجيل الأخير ؛ لأن عدم إنبات أية بذرة فى أى جيل يعنى استبعاد نبات الجيل الثانى الذى انحدرت منه هذه البذرة تلقائيًا . وتسمح هذه الطريقة بمزاولة الانتخاب فى أى جيل ، لاستبعاد النباتات التى تحمل صفات غير مرغوب فيها .

٢– طريقة الجورة الواحدة Single-Hill Procedure :

تزيد طريقة الجورة الواحدة – كثيراً – من فرصة تمثيل كل نبات من الجيل الثانى فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية . وقد اقترح هذه الطريقة Jones & Singleton فى عام ١٩٣٤ ، وفيها يزرع نسل كل نبات –فى أى جيل– كسلالة مستقلة . ويجرى ذلك بزراعة ٣–٤ بذور من كل نبات فى جورة واحدة ، وتحصد منها البذور الناتجة من التلقيح الذاتى ، لتزرع ٣–٤ بذور منها فى جورة أخرى فى الجيل التالى ... وهكذا . وتحصد بذور النباتات الفردية مستقلة ، حينما تصل العشيرة إلى الدرجة المرغوبة من الأصالة الوراثية .

ويمكن بهذه الطريقة تتبع نسب أى نبات من أى جيل حتى الجيل الثانى ، ولكن يلزم فى هذه الحالة الاحتفاظ بسجلات للنُّسبَ ، وهو مالا يعمل به فى طريقة البذرة الواحدة .

٣- طريقة البذور المتعددة Multiple-Seed Procedure

يتطلب اتباع طريقة البذرة الواحدة زراعة عدد كبير من البذور فى الجيل الثانى عما فى الأجيال التالية ، مع جمع عينة إضافية من البذور فى كل جيل ، تستعمل كاحتياطى فى حالة فشل الزراعة . ولتجنب ذلك .. تتبع طريقة البذور المتعددة ، وفيها تحصد ٣-٤ بذور من كل نبات ، وتخلط معًا ، ثم يزرع جزء من البذور ، ويحتفظ بالباقى كاحتياطى . ويتوقف عدد البذور التى تزرع وتحصد فى كل جيل على عدد السلالات التى يرغب فى الحصول عليها من العشيرة لتقييمها ، وعلى نسبة الإنبات المتوقعة للبذور .

وعلى خلاف طريقة البذرة الواحدة .. فإن عدد البذور التى تزرع فى طريقة البذور المتعددة يمكن أن يبقى ثابتًا فى كل جيل . فلو فرض أن رغب المربى فى الحصول على ٢٠٠ سلالة فى الجيل الخامس ، وكانت نسبة الإنبات المتوقعة ٨٠٪ .. فما عليه سوى زراعة ٢٥٠ بذرة (٢٠٠ ÷ ٠,٨ = ٢٥٠) فى الجيل الثانى ؛ لكى يحصل منها على ٢٠٠ نبات ، ثم يحصد ثلاث بذور من كل نبات منها ؛ ليتجمع لدية ٦٠٠ بذرة جيل ثالث . وتزرع ٢٥٠ من بذور الجيل الثالث ؛ لكى يحصل منها على ٢٠٠ نبات ، ثم تحصد ثلاث بذور من كل نبات منها ؛ ليتجمع لدية ٦٠٠ بذرة جيل رابع .. وهكذا إلى أن يصل إلى المستوى المطلوب من التربية الداخلية . وقد أطلق على هذه الطريقة أسماء مختلفة ، منها طريقة التحدر المحورة من بذرة واحدة Modified Single-Seed Descent ، وطريقة القرون المجمعة pod-bulk method ، نسبة إلى تجميع بذور قرن واحد من كل نبات ' كما يتبع فى فول الصويا .

وتتميز جيمع الطرق – التى شرحت آنفاً لتطبيق مبدأ التحدر من بذرة واحدة – بما يلـــى :

١- سهولة إدامة العشائر والمحافظة عليها ، خلال مراحل التربية الداخلية .

٢- لايؤثر الانتخاب الطبيعى فى العشائر إلا إذا اختلفت التراكيب الوراثية فى قدرتها على إنتاج بذرة واحدة على الأقل .

٣- تناسب جميع الطرق الزراعة فى البيوت المحمية فى غير المواسم العادية ؛ وبذلك.. يمكن تقصير الفترة التى تلزم للوصول إلى الأصالة الوراثية .

يعاب على هذه الطرق مايلى :

١- يعتمد الانتخاب الصناعى على مظهر النباتات الفردية ، وليس على اختبارات النسل .

٢- لاتسمح هذه الطرق بأن يأخذ الانتخاب الطبيعى مجراه فى التأثير الإيجابى فى العشائر .

وتتميز طريقة البذرة الواحدة بما يلى :

١- تتطلب هذه الطريقة وقتاً أقل ومساحة أقل بكثير من طريقة الجورة الواحدة .

٢- ينتسب كل نبات فى الجيل النهائى إلى نبات مختلف من الجيل الثانى ؛ وبذلك .. تزيد الاختلافات الوراثية فى العشيرة .

ولكن يعاب على طريقة البذرة الواحدة ما يلى :

١- ربما لايمثل نبات من نباتات الجيل الثانى بنبات فى الجيل النهائى ؛ بسبب فشل بعض النباتات فى إنتاج بذرة واحدة على الأقل فى كل جيل من أجيال التربية الداخلية .

٢- يجب تعديل عدد البذور التى ينبغى زراعتها فى كل جيل تبعا لنسبة الإنبات .

٣- تتطلب هذه الطريقة وقتًا أطول عند الحصاد عن طريقة البذور المتعددة لتحضير عينتين من البذور واحدة للزراعة ، والأخرى تترك كاحتياطى .

وتتميز طريقة الجورة بأن كل نبات فى العشيرة ينتسب إلى نبات مختلف فى الجيل الثانى ؛ مما يزيد الاختلافات الوراثية فى العشيرة . ولكن يعيب هذه الطريقة أنها تتطلب وقتاً أطول عند الزراعة والحصاد ، ومساحة أكبر للزراعة عن الطريقتين الأخريين (Fehr ١٩٨٧) .

انتخاب التجميع

تتبع التربية بطريقة انتخاب التجميع Bulk Population Breeding فى تحسين النباتات الذاتية التلقيح فقط ؛ لأنها تعتمد على خاصية التلقيح الذاتى الطبيعى خلال فترة

زراعة العشائر الانعزالية متجمعة in bulk ، إلى أن تصل النباتات إلى حالة الأصالة الوراثية قبل بدء عملية الانتخاب ، وتناسب هذه الطريقة المحاصيل البذرية ، خاصة الحبوب والبقول .

خطوات برنامج التربية

١- اختيار الآباء وإنتاج الجيل الأول :

تختار الآباء بعناية كما سبق بيانه بالنسبة للتربية بطريقة انتخاب النسب . وقد يبدأ برنامج التربية بهجين متعدد السلالات Composite (يراجع الموضوع فى الفصل العاشر) يدخل فى تكوينه ١٦ صنفاً ، أو سلالة ، وربما أكثر من ذلك . والمهم أن تحتوى الآباء على كافة الصفات التى يرغب فى تجميعها فى الصنف الجديد .

ويطلق اسم الجيل الأول على نسل أول تلقيح شامل لكل السلالات التى يُراد استعمالها كآباء ، سواء كان الهجين فردياً ، أم ثلاثياً ، أم زوجياً ، أم متعدد السلالات . وقد يتم تهجين كل سلالتين معًا توفيراً للوقت ، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تهجين ؛ لتشكل معًا الجيل الأول ، ولكن هذا الخلط لايوصى به فى حالة تقييم واختبار الأجيال المبكرة . ويعنى إجراء التهجينات بين الآباء بهذه الطريقة أن أى نبات - أو سلالة - تنتخب من برنامج التربية لن تحتوى إلا على جينات من سلالتين فقط ، هما سلالتا الآباء .

٢- اختبار الأجيال المبكرة Early Generation Testing :

يجرى اختبار مبكر لعشائر الجيل الثانى المتحصل عليها من تلقيحات مختلفة إن توفرت كميات كافية من بذورها لذلك . وتزرع العشائر فى تجربة بمكررات ، ويفضل أن تنفذ الدراسة فى عدة مواقع ؛ ويستدل من بيانات المحصول على التلقيحات التى تحتوى على عدد كبير من الانعزالات الجيدة المرغوب فيها ، وتلك هى التى يستمر معها برنامج التربية بعد ذلك ، بينما تستبعد العشائر الأخرى .

وفى حالة عدم توفر كميات كافية من بذور عشائر الجيل الثانى .. يتم إنتاج عشائر الجيل الثالث ، ثم يجرى عليها الاختبار كما سبق بيانه . ويفيد اختبار الأجيال المبكرة فى

تحديد التلقيحات التى يؤمل أن تعطى انعزالات جيدة ، خاصة وأن البرنامج يستمر بعد ذلك لعدة سنوات دون أية دراية بمدى جدواه ، خلال الفترة التى تزرع فيها النباتات متجمعة ، وهى التى تمتد حتى الجيل الخامس أو السادس .

وقد يجرى التقييم المبكر للأصناف التى تدخل فى التلقيحات لمعرفة مدى صلاحيتها؛ بعمل تلقيحات بنيها بكل الطرق الممكنة (Diallel Crosess) ، ثم يزرع الجيلان الأول والثانى لكل تلقيح فى تجربة بمكررات ، وتقارن متوسطات كل صنف عند اشتراكه فى هجن مع الأصناف الأخرى . ويعاب على هذه الطريقة احتياجها إلى جهدٍ كبير ، كما يصعب اتباعها عند زيادة عدد الأصناف على ١٠ ؛ لأن عدد الهجن الممكنة تصبح – مثلا – ١٠٥ ، و ١٩٠ عند زيادة عدد الأصناف إلى ١٥ ، و ٢٠ على التوالى .

٣- الأجيال المتجمعة Bulk Populations :

تزرع نباتات الجيل الثانى والأجيال التالية حتى الجيل الخامس أو السادس متجمعة معًا ؛ فتحصد بذور الجيل الثانى (التى تنتجها نباتات الجيل الأول) ، وتخلط معًا وتزرع ، ثم تحصد بذور الجيل الثالث (التى تنتجها نباتات الجيل الثانى) ، وتخلط معًا ، وتزرع ... وهكذا تستمر الحال على هذا الوضع ، إلى أن تصل النباتات إلى الدرجة المطلوبة من الأصالة الوراثية قبل أن يبدأ انتخاب النباتات الفردية .

ونظراً لأن كمية البذور التى تحصد من جيل ما تكون أكبر بكثير مما يلزم للزراعة فى الجيل التالى ؛ لذا .. فإن البذور تخلط – معًا – بشكل جيد ، وتؤخذ منها عينة عشوائية تكفى لزراعة المساحة التى تزرع سنويًا ؛ والتى تظل ثابتة جيلاً بعد جيل . وتجدر الإشارة إلى أن اختبار الأجيال المبكرة – إن أجرى – تزرع فيه النباتات متجمعة كذلك .

وتحقق فترة الزراعة المتجمعة عدة مزايا ، هى :

أ- وصول جميع النباتات فى العشيرة إلى الأصالة الوراثية ، دون أن يتحمل المربى مشقة الاحتفاظ بسجلات النسب . ورغم أن النباتات الخليطة قد تتميز بقدرة أكبر على البقاء والتكاثر لقوة لنموها .. إلا أن ذلك لايؤثر كثيراً فى سرعة الوصول إلى الأصالة الوراثية .

ب- يمكن الاستفادة من الانتخاب الطبيعى فى استبعاد التراكيب الوراثية ، التى

لاتتحمل الظروف البيئية السائدة ، أو التى لاتقاوم الأوبئة المرضية أو الحشرية التى يتكرر حدوثها . كما يفيد الانتخاب الطبيعى فى خفض معدل تكاثر التراكيب الوراثية التى تكون أقل تأقلماً على الظروف البيئية ؛ فتقل نسبتها تبعا لذلك فى عشيرة الجيل السادس ، التى يبدأ فيها الانتخاب .

جـ- يمكن إجراء الانتخاب الصناعى لبعض الصفات بسهولة كبيرة خلال الأجيال المتجمعة ، لكن يشترط أن تكون هذه الصفات أساسية بالنسبة للصنف الجديد ، الذى يرغب فى إنتاجه ، لأن كافة النباتات الأخرى - التى لاتحتوى على هذه الصفات - يتم استبعادها جملة واحدة ، ويعد ذلك انتخابا إجماليًا ضمن برنامج انتخاب التجميع . ومن أمثلة الصفات التى يسهل الانتخاب لها ما يلى :

(١) المقاومة للآفات بإجراء العدوى الصناعية بالحشرات أو بمسببات الأمراض .

(٢) التبكير فى النضج بإجراء الحصاد فى الموعد المرغوب للنضج ، وهو مايؤدى إلى استبعاد النباتات المتأخرة النضج تلقائيًا ؛ لأنها لاتسهم فى إنتاج البذور للجيل التالى .

(٣) طول النبات فى بعض الأنواع النباتية كمحاصيل الحبوب الصغيرة ، وهى صفة مهمة لمنع الرقاد ، وتجرى بحصاد السنابل ، التى تكون عند الارتفاع المرغوب فيه فقط ، مع إزالة السنابل التى تتكون على النباتات الأطول من ذلك ، والاستغناء عن السنابل التى تتكون على ارتفاع يقل عن المطلوب .

(٤) انتخاب البذور الكبيرة الحجم ، أو التى تتكون بأشكال معينة ، ويجرى ذلك - بسهولة - بغربلة البذور بعد الحصاد ، ولاتزرع سوى البذور التى تبلغ الحجم المطلوب ، أو التى تكون بالشكل المطلوب .

د- استبعاد النباتات التى يكون واضحاً من شكلها المظهرى أنها غير مرغوبة ؛ حتى تكون نسبتها منخفضة فى العشيرة ، حينما تبدأ عملية الانتخاب . ومن أمثلة ذلك .. صفة النمو غير المحدود فى الفاصوليا ، حينما يراد إنتاج صنف محدود النمو ؛ خاصة أن النباتات ذات النمو المحدود لايمكنها منافسة النباتات ذات النمو غير المحدود .

لكن يعاب على فترة الزراعة المتجمعة ما يلى :

أ- ربما لاتُمثل جميع النباتات من جيل ما فى الجيل التالى له بمحض الصدفة .

ب- لايمكن تحديد نسب التراكيب الوراثية ومدى الاختلافات الوراثية فى العشيرة .
جـ- قد يناسب الانتخاب الطبيعى صفات غير مرغوبة .

٤- الأجيال الانتخابية :

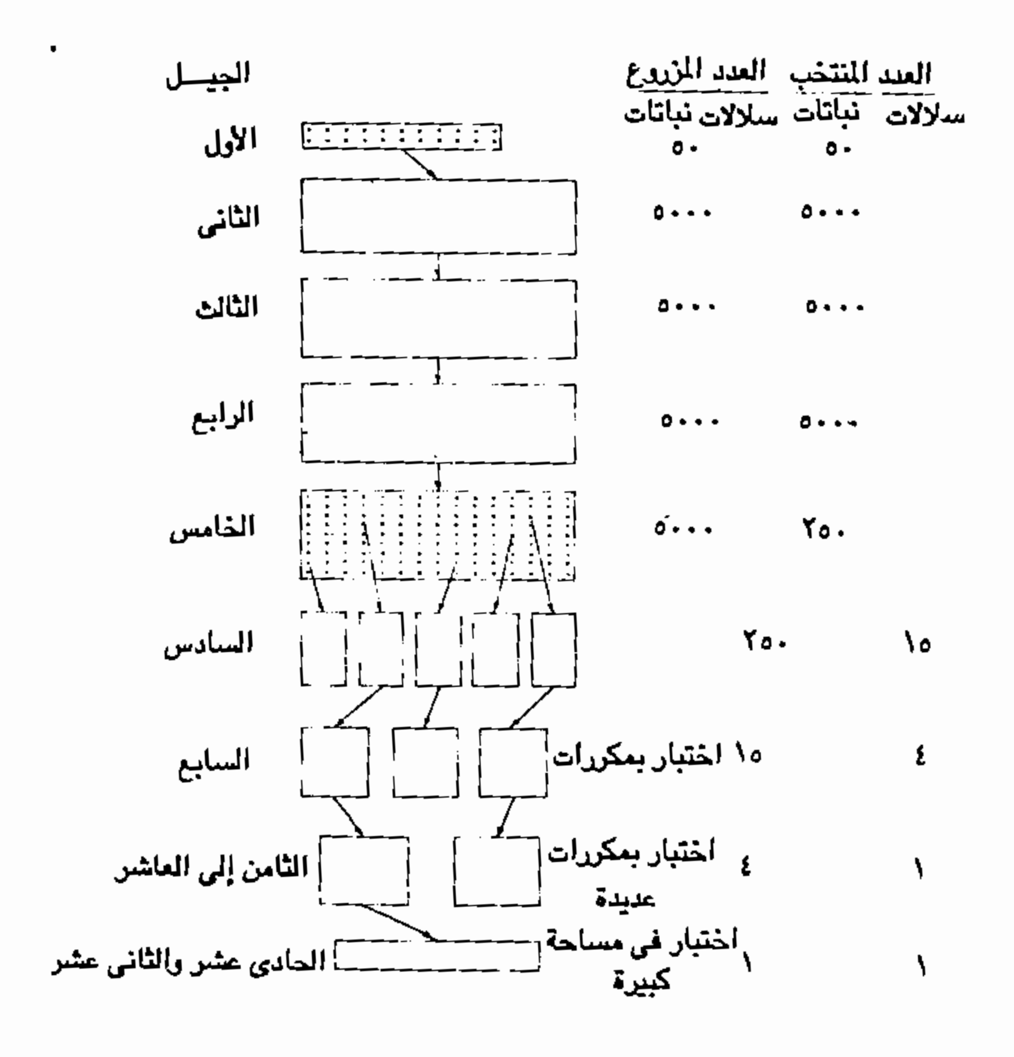
يبدأ الانتخاب فى الجيل السادس أو السابع ، ويستمر إلى الجيل الثانى عشر ، وتعامل النباتات خلال هذه المرحلة كما فى المرحلة المماثلة فى طريقة انتخاب النسب . وتكون الزراعة فى الجيل الذى تبدأ فيه عملية الانتخاب على مسافة أوسع مما فى الزراعة التجارية ؛ ليمكن دراسة كل نبات على حدة . يعطى كل نبات منتخب سلالة أصيلة ومتجانسة ، لاتتغير خصائصها فى الأجيال التالية . ورغم أن الأصالة الوراثية لاتكون كاملة فى الجيل السادس .. إلا أنها تكون قريبة من ذلك ، ولايحدث فى نسل النباتات المنتخبة انعزالات يمكن أن تؤثر فى عملية التقييم فى الأجيال التالية . وبوصول النباتات إلى الجيل الثانى عشر .. يكون قد انتخبت سلالة واحدة ، وهى التى تعطى اسما ؛ لتصبح صنفاً جديداً . ويبين شكل (١١-٣) تخطيطاً لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب التجميع .

٥- التقييم النهائى :

يجرى التقييم النهائى للصنف الجديد ؛ بمقارنته بأهم الأصناف التجارية ، على مساحة فدان فى كل موقع من خمسة مواقع إنتاجية ، وعلى مدى خمس سنوات .

دور الانتخاب الطبيعى فى التربية بطريقة انتخاب التجميع

كثيراً ما يُغالى فى تقدير الدور الى يمكن أن يؤديه الانتخاب الطبيعى فى زيادة نسبة التراكيب الوراثية الأكثر قدرة علي البقاء خلال مرحلة الأجيال التى تزرع متجمعة ، ولكن الواقع أن هذه الفترة لاتتعدي ستة اجيال ، وهى لا تكفى لأن يؤدى الأنتخاب الطبيعي دوراً فعالاً فى استبعاد النباتات غير المرغوب فيها . فمن الخطأ - ابتداء - مقارنة الدور الذى يؤديه الأنتخاب الطبيعى فى خليط من السلالات الأصيلة بالدور الذى يؤديه خلال فترة الزراعة المتجمعة ، ففى الحالة الأولى .. تزيد نسبه السلالات الأكثر قدرة على البقاء على حساب السلالات الأخرى ، التى تختفى نهائيا بعد عدد محدود من الأجيال . أما فى الحالة الثانيه .. فإن النباتات تكون خليطة وراثياً ، وتعطي انعزالات كثيرة بصفه



شكل (١١ - ٣) : تخطيط لخطوات برنامج التربية بطريقة انتخاب التجميع (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

مستمرة ، فتظهر بذلك تراكيب وراثية جديدة مختلفة جيلاً بعد الآخر ، ولايعطى هذا الوضع فرصة للانتخاب الطبيعى كى يؤدى دوره فى الإبقاء على التراكيب الوراثية المرغوب فيها . وحينما تصل النباتات الى درجه عاليه من الأصالة الوراثيه فى الجيل السادس أو السابع .. فإن الزراعة المتجمعة تتوقف حينئذ – وتبدأ عملية الانتخاب الصناعي . وحتى فى ذلك الوقت .. فإن عدد السلالات المتنافسة يكون كثيراً جداً ، بدرجة لا تسمح للسلالات المرغوب فيها بمزاحمة كافة السلالات الأخرى بفاعلية . والى جانب ماتقدم .. فإن الانتخاب الطبيعى قد يكون له تأثيرات سلبية ، كما فى الحالات التالية :

١ – قد يؤدى الانتخاب الطبيعى إلى الابقاء على مجموعة من السلالات التى قد تكون ناجحة وصالحه للبقاء وهى مختلطة مع بعضها ، ولكن ذلك لايعنى أن أياً منها تكون ناجحة لو زرعت بمفردها بعد ذلك .

٢ – ربما لاتكون السلالات الأكثر قدرة على البقاء هى الأفضل من الوجهة البستانية أو الزراعية . ومن أمثلة ذلك .. أن الانتخاب الطبيعى يكون فى صالح النباتات السريعة الإزهار – كما فى الخس – ويكون فى صالح النباتات التى تنتج بذوراً صغيرة ؛ لأنها تتكون بأعداد أكبر مما فى حالة النباتات التى تنتج بذورا كبيرة ، كما فى الفاصوليا . وتتوقف القدرة على البقاء فى خليط من التراكيب الوراثية على عاملين ، هما :

١ – عدد البذور التى ينتجها كل تركيب وراثى .

٢ – نسبة البذور المنتجة التى تعطى نباتات تصل إلى مرحلة الإزهار والإثمار والنضج . فإذا اعتبرنا أن P ، و Q تمثلان نسبة تركيبين وراثيين يتنافسان على البقاء ، وأن sp ، و sq هى قيمة الانتخاب selective value لكل منهما على التوالى ، فإنه يمكن حساب نسبتها فى جيلين متعاقبين (n) (n + 1) بالمعادلة التالية :

$$Pn + 1 = sp\ Pn / T$$

$$Qn + 1 = sq\ Qn / T$$

حيث T هى معامل لتعديل النسب بحيث يصبح مجموعها واحدا صحيحاً .

وكمثال على ذلك (عن Allard ١٩٦٠) .. نفترض أننا خلطنا – معا – تركيبين وراثيين ، هما P ، و Q بنسب متساوية ، أى إن Po = Qo = ٥ ، وأن قيمتى الانتخاب

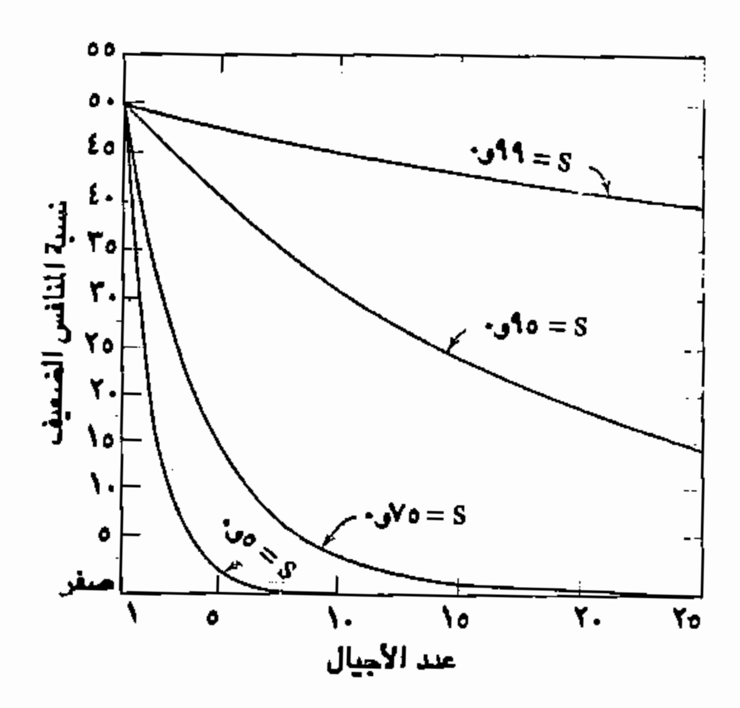
للمنافس القوى – وليكن P – والمنافس الضعيف – وليكن Q هما ١,٠ ، و٩,٠ على التوالى ، فإننا نجد – بتطبيق المعادلة الخاصة بالمنافس القوى (P) إن نسبته تتغير من ٠,٥ فى الجيل الأول (جيل الأساس) إلى ٠,٥٢٦٣ ، فى الجيل الثانى ، و ٠,٥٥٢٥ فى الجيل الثالث ، و ٠,٥٧٨٤ ، فى الجيل الرابع ، و ٠,٦٠٣٩ فى الجيل الخامس . أما نسبة Q (المنافس الضعيف) فإنها تحسب فى أى جيل بالمعادلة التالية :

$$Qn = 1-Pn$$

ويبين شكل (١١-٤) النسب النظرية المتوقعة للمنافس الضعيف (Q) حتى ٢٥ جيلاً فى حالات قيم انتخابية (s) تتراوح من ٠,٥ إلى ٠,٩٩ ؛ علما بأن القيمة الانتخابية للمنافس القوى تبقى ثابتة عند ١,٠ . ويتضح من الشكل أنه عندما يكون الفرق فى القيم الانتخابية بين التركيبين الوراثيين المتنافسين كبيراً .. فإن النقص فى نسبة التركيب الوراثى الأقل قدرة على المنافسة (Q) يكون كبيراً خلال الأجيال الأولى ، بينما يقل معدل النقص فى نسبة هذه الأفراد بعد ذلك ؛ بحيث لاتختفى الأفراد الأخيرة من المنافس الضعيف إلا ببطء شديد . أما عندما يكون الفرق فى القيم الانتخابية بين التركيبين الوراثيين المتنافسين صغيراً .. فإن التغير فى نسبة كل منهما يكون صغيراً على الدوام ؛ فمثلا نجد فى حالة اختلاف القيمة الانتخابية بين التركيبين الوراثيين بمقدار ٥٪ فقط (s = ٠,٩٥) أنه يلزم ١٤ جيلاً فقط لخفض نسبة المنافس الضعيف (Q) من ٥٠٪ إلى ٢٥٪ ، ولكنه يستمر يُشكل نحو ٤٪ من النباتات فى العشيرة بعد ٥٠ جيلاً .

وعندما يتنافس أكثر من تركيبين وراثيين على البقاء .. فإن منحنيات نسب أكثر التركيب الوراثية وأقلها قدرة على البقاء تكون مشابهة لما فى الحالة السابقة (حالة تنافس تركيبين وراثيين فقط) . أما التراكيب الوراثية الوسطية فى القدرة على المنافسة .. فإنها تظل وسطية ، وتنخفض نسبتها ببطء إلى أن يقضى على أضعف المتنافسين . وقد ترتفع نسبة بعضها قليلاً ؛ حتى يقترب المنافس الضعيف من الاختفاء . حينئذ .. تنخفض نسبته مرة أخرى ، بينما تنخفض نسب التراكيب الوراثية الأضعف منه ؛ لأن المنافسة تكون محصورة بينها وبين المنافس القوى .. وهكذا تستمر الحال إلى أن يسود المنافس القوى فقط .

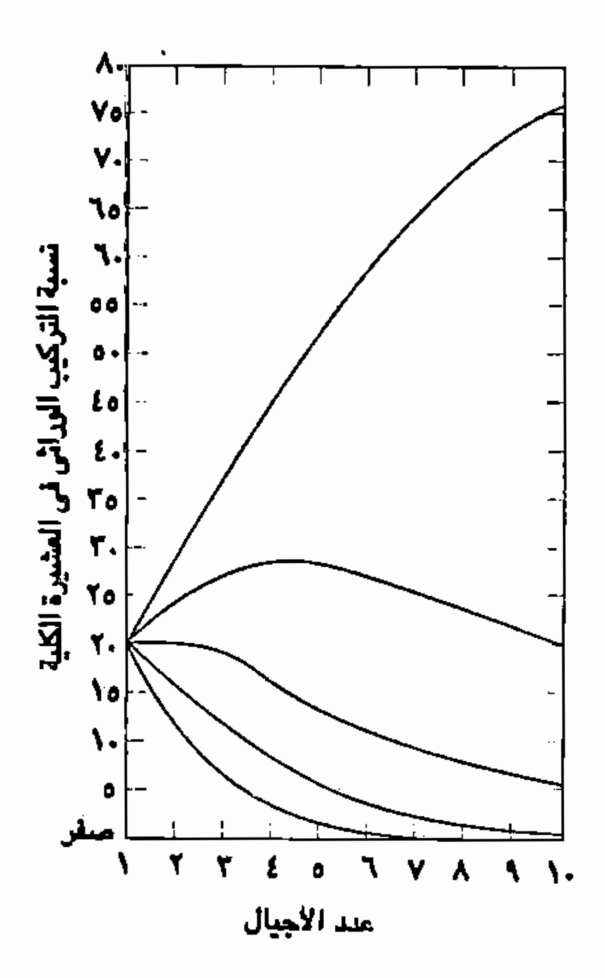
ويبين شكل (١١-٥) الوضع الذى تصير إليه نسب خمسة تراكيب وراثية ، خلال عشرة



شكل (١١ – ٤) : التغير في نسبة التركيب الوراثي الأقل قدرة على البقاء والمخلوط – ابتداءً – بنسبة ٥٠٪ مع تركيب وراثي آخر عند اختلاف القيمة الانتخابية (s) للمنافس الضعيف (عن Allard ١٩٦٠) .

أجيال من الانتخاب الطبيعي ، علماً بأنها خلطت في البداية بنسب متساوية (٢,٠ لكل منها) ، وأن التركيبين الوراثيين الأعلى قدرة ، والتركيبين الوراثيين الأقل قدرة على البقاء تختلف في القيمة الانتخابية عن التركيب الوراثي الوسطي بمقدار ٤٠٪ ، و ٢٠٪ بالزيادة ، ٤٠٪ و ٢٠٪ بالنقص على التوالي .

وتجدر الإشارة إلى أن القيم الانتخابية لاتبقى ثابتة ، بل تتغير بتغير العوامل البيئية من موسم إلى آخر . كما أن التفاعل بين العوامل البيئية والتراكيب الوراثية يجعل هذا التغير في القيم الانتخابية مختلفاً من تركيب وراثي إلى آخر .



شكل (١١ – ٥) : التغير المتوقع فى نسب خمسة تراكيب وراثية مختلطة معاً خلال عشرة أجيال من الانتخاب الطبيعى . انظر المتن للتفاصيل .

طرق التربية المحورة من طريقة انتخاب التجميع

أدْخَلَ بعض مربى النبات تعديلات على التربية بطريقة انتخاب التجميع ؛ لجعلها أكثر كفاءة . ونذكر فيما يلى أهم هذه التعديلات .

طريقة انتخاب التجميع المحورة Modified Bulk Method

يتم فى هذه الطريقة انتخاب النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها سنوياً (خلال

فترة الزراعة المتجمعة) ، وتخلط بذورها - معًا - لتزرع فى الجيل التالى ، ويستمر البرنامج بعد الجيل الخامس أو السادس كالعادة .

طريقة انتخاب التجميع والنسب Bulk-Pedigree Method

تزرع النباتات فى هذه الطريقة متجمعة ، خلال الأجيال الأولى من برنامج التربية ، إلى أن تكون الظروف البيئية مناسبة لظهور الصفات المرغوب فيها ؛ حيث يبدأ – حينئذ – انتخاب النباتات الفردية ، ثم يستمر برنامج التربية – بعد ذلك – بطريقة انتخاب النسب . وقد تنتهى الزراعة المتجمعة فى الجيل الثانى ؛ فتتبع التربية بطريقة انتخاب النسب ،أو تدوم إلى الجيل السادس ، وفى هذه الحالة .. تكون التربية بطريقة انتخاب التجميع . وتناسب هذه الطريقة الانتخاب لمقاومة الأمراض ، حين يكون الاعتماد على الأوبئة الطبيعية لانتخاب صفة المقاومة .

طريقة انتخاب النسب والتجميع Pedigree-Bulk Method

تتبع فى هذه الحالة طريقة انتخاب النسب فى بداية برنامج التربية بإلى أن يتم التخلص من النباتات غير المرغوب فيها ، ثم يستمر البرنامج – بعد ذلك – بطريقة انتخاب التجميع .

طريقة انتخاب التجميع الرجعى Bacross-Bulk Method

تتبع هذه الطريقة حينما يكون أحد الآباء المهجنة معًا لبدء برنامج التربية صنفًا تجارياً ناجحاً ذا صفات مرغوب فيها ؛ حيث يفضل إجراء تلقيح أو تلقيحين رجعيين معه ؛ لجمع أكبر قدر من صفاته قبل الاستمرار فى برنامج التربية بعد ذلك كالمعتاد .

الانتخاب المتكرر

كان Hayes & Garber هما أول من اقترح التربية بطريقة الانتخاب المتكرر فى عام ١٩١٩ . كما اقترحها – أيضًا – بدون علم سابق East & Jones فى عام ١٩٢٠ . وكان Jenkins هو أول من وصف هذه الطريقة بالتفصيل فى عام ١٩٤٠ ، وكان Hull هو الذى اقترح لها الاسم الذى تعرف به ، وهو الانتخاب المتكرر Recurrent Selection ، وكان ذلك فى عام ١٩٤٥ (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

وتتبع التربية بطريقة الانتخاب المتكرر فى تحسين المحاصيل الخلطية التلقيح فقط ؛ مثل الذرة ، والبرسيم الحجازى ؛ لأن إكثار الصنف الناتج يعتمد على التلقيح الخلطى العشوائى بين نباتاته ، بينما يؤدى التلقيح الذاتى إلى فقدان خصائص الصنف . وتناسب هذه الطريقة كثيراً من المحاصيل الخلطية التلقيح ؛ مثل السبانخ ، والبنجر ، والجزر ، والكرنب . وتوجد أربعة أنواع رئيسية للانتخاب المتكرر ، هى : الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى ، والانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف ، والانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف ، والانتخاب المتكرر المتبادل .

الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى

يطلق على طريقة التربية بالانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى Recurrent Selection for Phenotype – أيضاً – اسم الانتخاب المتكرر البسيط Simple Recurrent Selection ، وتكون خطواته كما يلى :

١– ينتخب عدد من النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها من أحد الأصناف التجارية الهامة الذى قد يكون مفتوح التلقيح ، أو هجيناً فردياً ، أو هجيناً زوجياً ، أو صنفاً تركيبياً . ويكون انتخاب النباتات على أساس الشكل الظاهرى للصفات المرغوب فيها .

٢– يلقح كل نبات من النباتات المنتخبة ذاتيًا . وتخلط البذور – معًا – لتكون مايعرف باسم بذور الأساس لدورة الانتخاب الأولى Syn-I-O .

٣– تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى فى العام التالى ، وتجرى بينها كل التلقيحات الممكنة –يدويًا– ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح ؛ لتكون بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn I-1 .

٤– تبدأ الدورة الثانية للانتخاب بزراعة بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب الأولى ، ثم تنتخب منها أفضل النباتات ، وتلقح ذاتيًا ، وتخلط البذور الناتجة – معًا – لتكّون بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية Syn-II-0 .

٥– تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية ؛ لإنتاج بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الثانية Syn - II - 1 ... وهكذا .

تستكمل كل دورة فى موسمين زراعيين ، وتستمر الدورات إلى أن يصبح الانتخاب غير مُجْدٍ . يقتصر استعمال هذه الطريقة فى التربية على تحسين الصفات ذات درجات التوريث المرتفعة ، التى يمكن تمييزها على أساس الشكل الظاهرى . أما صفة المحصول والصفات الكمية الأخرى .. فلايمكن إحراز تقدم كبير فى تحسينها باتباع هذه الطريقة .

إن الميزة الأساسية لهذه الطريقة فى التربية -مقارنة بطرق التربية الأخرى- أن كل دورة انتخاب تسمح بظهور تراكيب وراثية جديدة .. يكون من بينها تراكيب أفضل من تلك التى كانت موجودة فى الجيل السابق ؛ ذلك لأنه يتم انتخاب أفضل النباتات فى كل دورة انتخاب ، وهى نباتات خليطة - وراثيًا - بطبيعتها (لأنها من عشيرة محصول خلطى التلقيح) ، ويؤدى تلقيحها - ذاتيًا - إلى المحافظة عليها من التلقيح مع نباتات أخرى غير منتخبة ، بينما يؤدى تلقيح أنسالها -معًا- إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة جديدة ، يكون من بينها انعزالات فائقة الحدود Transgressive Segregations ، تجمع الصفات الممتازة من أبويها ؛ وبذا .. توجد فى كل دورة للانتخاب فرصة لظهور تراكيب وراثية أفضل مما ظهر فى الدورة السابقة لها .

وتستمر الحال على هذا الوضع إلى حين الوصول إلى أفضل حالة توازن بين آليلات الصفات المرغوب فيها .. حينئذ .. يتوقف الانتخاب ، ويبدأ أكثار العشيرة النهائية التى تصبح بعدها صنفاً جديداً .. ويستمر ثبات خصائص هذا الصنف على حالة التوازن الوراثى التى وصلت إليها العشيرة فى آخر دورة للانتخاب، وبعد جيل واحد من التلقيح الخلطى العشوائى حسب قانون هاردى - فينبرج .

لاتتبع هذه الطريقة -عادة- فى تحسين المحاصيل الذاتية التلقيح ، إلا أنها استعملت من قِبَل Lyons وآخرين(١٩٨٧) فى تحسين صفة المقاومة لفطر *Sclerotinia sclerotiorum* ، المسبب لمرض العفن الأبيض فى الفاصوليا ، بنسبة نحو ٥٠٪ فى خلال دورتين فقط من الانتخاب . وقد اعتمد الباحثون على إجراء تلقيحات يدوية بين ٢٠ تركيبياً وراثياً منتخباً فى كل دورة انتخاب .

الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف

كان Jenkins هو الذى اقترح طريقة الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف

Recurrent Selection for General Combining Ability ، حينما أوضح طريقة التقييم المبكر للقدرة العامة على التآلف . وتختلف هذه الطريقة عن الانتخاب المتكرر للشكل الظاهرى فى أن الانتخاب يجرى فى كل دورة جديدة على أساس قدرة النباتات المنتخبة على التآلف مع أحد الأصناف الاختبارية Tester Variety فى تلقيح قمى Top Cross . وتكون خطوات برنامج التربية كما يلى :

١- ينتخب عدد من النباتات التى تحمل الصفات المرغوب فيها من أحد الأصناف التجارية الهامة ، وهى التى يطلق عليها بذور الأساس لبرنامج التربية الداخلية (S_0) .

٢- يلقح كل نبات من النباتات المنتخبة – ذاتياً – لإنتاج بذور جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) ، كما يُلقح كل نبات منها فى الوقت ذاته مع صنف اختبارى يستخدم كأم .

٣- يحتفظ فى العام التالى ببذور جيل التلقيح الذاتى الأول ، بينما تزرع البذور الناتجة من التلقيح القمى ، ويُقيِّم محصولها . ويستفاد من نتائج هذا التقييم فى معرفة أفضل النباتات التى كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع الصنف الاختبارى . وتخلط بذور التلقيح الذاتى الأول لهذه النباتات معًا ؛ لتشكل بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn-I-O .

٤- تزرع بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الأولى فى العام الثالث ، وتجرى بينها كل التلقيحات الممكنة يدويًا ، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح ؛ لتكوّن بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى Syn-II-1 .. وهكذا .

تستكمل كل دورة فى ثلاثة مواسم زراعية ، وتستمر الدورات إلى أن يتوقف التحسين فى القدرة العامة على التآلف .

هذا .. ويمكن – فى حالة توفر الإمكانات البشرية والمادية – زراعة البذور الناتجة من التلقيح الذاتى فى كل دورة انتخاب مع البذور الناتجة من التلقيح القمى – معاً – فى نفس الموسم ؛ فتزرع – على سبيل المثال – بذور جيل التلقيح الذاتى الأول (S_1) مع البذور الناتجة من التلقيح القمى فى العام الثانى لدورة الانتخاب الأولى . وتلقح نباتات جيل التلقيح الذاتى – ذاتيًا – لإتاج بذور جيل التلقيح الذاتى الثانى (S_2) ، فى الوقت الذى تقيِّم فيه النباتات الناتجة من التلقيح القمى . وبناء على نتائج هذا التقييم .. تخلط بذور التلقيح الذاتى الثانى لأفضل النباتات التى كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع الصنف

الاختبارى ؛ لتكّون معاً بذور الأساس لدورة الانتخاب المتكرر الثانية .

الانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف

اقترح Hull طريقة الانتخاب المتكرر للقدرة الخاصة على التآلف Recurrent Selection for Specific Combining Ability في عام ١٩٤٥ ، وهى تتشابه مع طريقة الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف من جميع الوجوه ، فيما عدا أن سلالة أصيلة (مرباة داخليًا) تستعمل فى التلقيح القمى ، بدلاً من الصنف المفتوح التلقيح . وأفضل سلالة لهذا الغرض هى التى يتوقع استعمالها فى هجن فردية مع السلالات التى تنتج من البرنامج . وقد يستعمل هجين فردى معين كصنف اختبارى ، إذا كان الغرض من البرنامج هو إنتاج سلالات أصيلة ، يمكن أن تتآلف معه بدرجة عالية فى هجين زوجى .

ويجب العناية باختيار السلالة الأصيلة التى تستعمل فى التلقيح القمى ، مع المحافظة عليها من أى تغير وراثى ؛ ذلك لأن البرنامج كله يبنى على أساس إيجاد سلالات متوافقة معها ؛ فيجب أن تكون هذه السلالة جيدة أصلاً ، وأن تستمر المحافظة عليها دون أى تغير وراثى ، وإلا .. فقد البرنامج قيمته . أما إذا ظهرت فى أثناء البرنامج سلالة أخرى أفضل منها .. فإنه تلزم إعادة العمل من جديد . ويعد ذلك من أكبر عيوب هذه الطريقة للتربية .

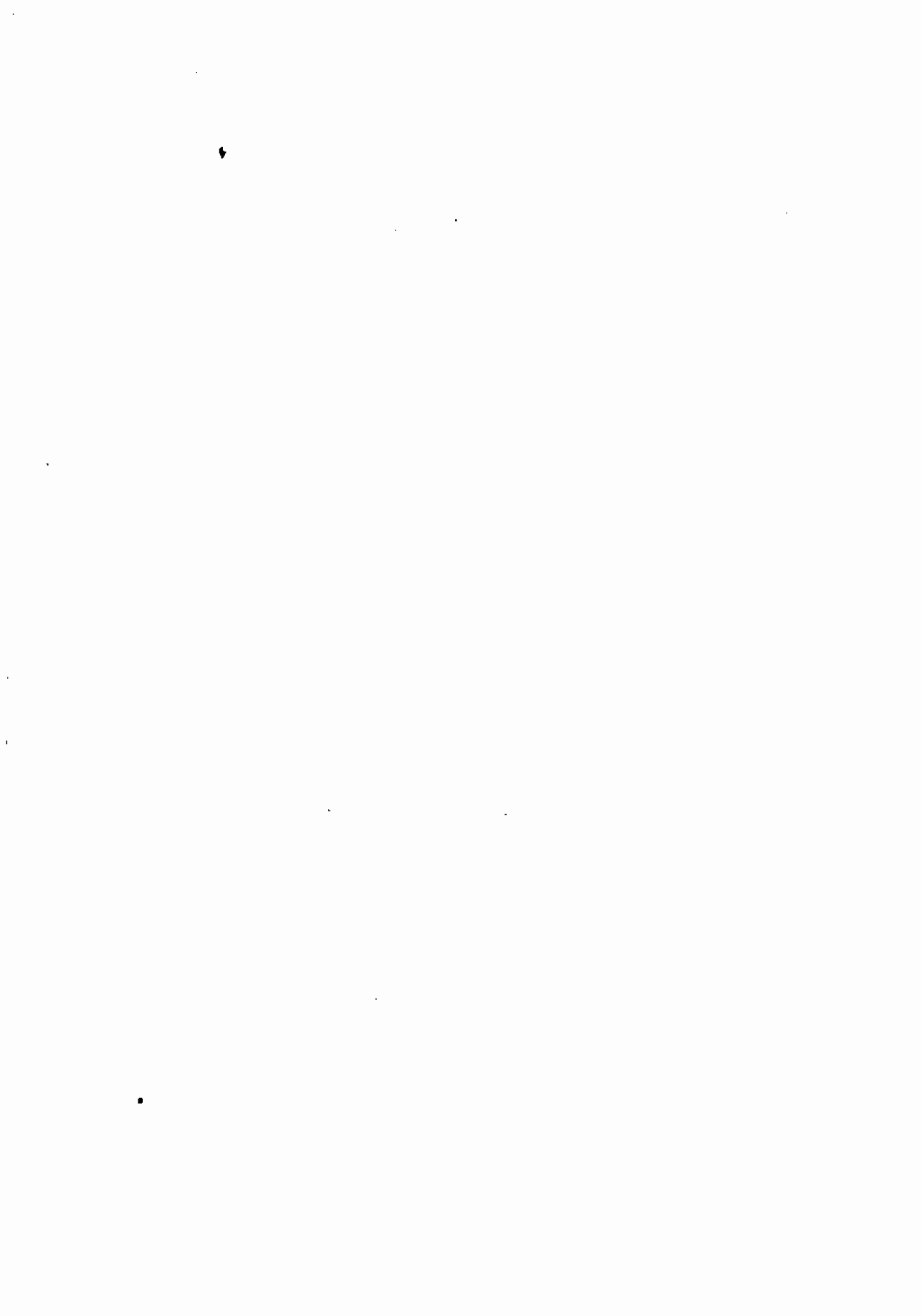
الانتخاب المتكرر المتبادل

تفيد التربية بطريقة الانتخاب المتكرر المتبادل Reciprocal Recurrent Selection فى الانتخاب لكل من القدرة العامة والقدرة الخاصة على التآلف . تتضمن الطريقة وجود عشيرتين من العشائر الوراثية التى تكون على درجة عالية من الخلط (عدم التماثل) الوراثى ؛ مثل الأصناف المفتوحة التلقيح ، على ألا يكون بينهما صلة قرابة . تستعمل العشيرتان فى برنامجين منفصلين للتربية ، يتشابه كل منهما مع برنامج الانتخاب المتكرر للقدرة العامة على التآلف ، مع استعمال كل من العشيرتين – فى الدورة الأولى للتربية – كصنف اختبارى للعشيرة الأخرى فى تلقيحات قمية ؛ كما تستعمل النباتات التى تبدأ بها كل دورة تالية من الانتخاب المتكرر فى أى من البرنامجين كصنف اختبارى فى البرنامج الآخر .

وعليه .. فإذا كانت العشيرتان هما A ، و B .. فإن أحد البرناسجين يبدأ بتلقيح بعض النباتات من العشيرة A ذاتيًا ، مع تلقيحها -في الوقت نفسه- مع عينة من نباتات العشيرة B ؛ بينما يبدأ البرنامج الآخر بتلقيح بعض النباتات من العشيرة B ذاتيًا مع تلقيحها – في الوقت نفسه – مع عينة من نباتات العشيرة A . ويحتفظ -في موسم الزراعة التالي- ببذور جيل التلقيح الذاتي الأول (S_1) لكل من العشيرتين ، بينما تزرع البذور الناتجة من التلقيحات القمية ، ويُقيّم محصولها . ويستفاد من هذا التقييم في معرفة أفضل نباتات كل عشيرة ، التي كانت ذات قدرة عالية على التوافق مع العشيرة الأخرى . تخلط بذور التلقيح الذاتي الأول – معًا – بالنسبة لكل عشيرة على حدة ؛ لتشكل بذلك بذور الأساس لدورة الانتخاب الأولى (Syn A-I-0 بالنسبة للعشيرة A ، وSyn-B-I-0 بالنسب للعشيرة B) . وتزرع هذه البذور في موسم الزراعة الثالث ، وتجرى بين نباتات كل منها كل التلقيحات الممكنة يدويًا ، ثم تخلط كميات متساوية من بذور كل تلقيح معاً بالنسبة لكل عشيرة على حدة ؛ لتكّون بذلك بذور الجيل الأول لدورة الانتخاب المتكرر الأولى (Syn A-I-1 بالنسبة للعشيرة A ، و Syn B-I-1 بالنسبة للعشيرة B) .

تستمر دورات الانتخاب المتكرر بعد ذلك مع الاستمرار في استعمال النباتات التي تبدأ بها كل دورة انتخاب – في أي من البرنامجين – كصنف اختباري في البرنامج الآخر . ويلزم انتخاب عدد كاف من النباتات في كل دورة انتخاب ؛ لتلقيحها ذاتيًا بغرض الحد من التربية الداخلية وما يصاحبها من تدهور في قوة النمو . كما يجب – قدر الإمكان – ألا تكون النباتات المنتخبة للتلقيح الذاتي في كل دورة ذات أصل مشترك ، لتحقيق الهدف نفسه .

وتستخدم السلالات من برنامجي التربية – في نهاية الأمر – في إنتاج هجن فردية ، أو هجن زوجية ، تكون على درجة عالية من التآلف . وتكون الهجن الزوجية بين هجن فردية استخدم في إنتاجها سلالات من نفس العشيرة ؛ فبينما تكون الهجن الفردية هكذا : $A_1 \times B_1$ ، أو $A_2 \times B_2$ .. فإن الهجين الزوجي يكون هكذا ..$(A_1 \times A_2) \times (B_1 \times B_2)$ علماً بأن A_1 ، A_2 ... إلخ .. هي سلالات منتخبة من برنامج العشيرة A ، B_1 ، و B_2 ... إلخ .. هي سلالات منتخبة من برنامج العشيرة B .



الفصل الثانى عشر

التهجين الرجعى

تعد طريقة التهجين الرجعى Backcross Method هى طريقة التربية الوحيدة التى تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها . وهى تستعمل فى تحسين كل من النباتات الذاتية التلقيح ، والنباتات الخلطية التلقيح ، ولكن بشروط خاصة فى الحالة الأخيرة . وتتبع طريقة التلقيح الرجعى لتحقيق هدف معين ، هو تحسين صنف تجارى ناجح ، أو سلالة أصيلة مرغوبة ؛ وذلك بأن يضاف إليها – بطريق التلقيح الرجعى – صفة واحدة ، أو صفتان أحياناً ، أو ثلاث صفات على الأكثر ، من مصدر آخر تتوافر فيه هذه الصفات ، ولكنه لايكون مرغوباً من الوجهة الزراعية فيما عدا ذلك من صفات ، وقد يكون بريًا .

وتتلخص التربية بطريقة التهجين الرجعى فى تلقيح الصنف الذى يُراد تحسينه – والذى يطلق عليه اسم الأب الرجعى Recurrent Parent – مع الصنف الذى يحتوى على الصفة التى يُراد نقلها – والذى يطلق عليه اسم الأب المعطى Donar Parent ، ثم تلقيح نباتات الجيل الأول – وكذلك الأجيال التالية التى تحتوى على الصفة التى يُراد نلقها – مع الأب الرجعى .

يلزم لنجاح التربية بطريقة التهجين الرجعى .. أن يكون الأب الرجعى ناجحاً ومرغوباً ، وأن تكون الصفة التى يُراد نقلها ذات درجة توريث عالية ، وأن يجرى عدد كاف من

التلقيحات الرجعية ؛ لاستعادة جميع صفات الأب الرجعى . يكتفى عادة بنحو ٥ - ٦ تلقيحات رجعية ، إلاّ أن العدد قد يصل إلى ١٠ تلقيحات .

ولقد كان Harlan & Pope هما أول من اقترح هذه الطريقة للتربية فى عام ١٩٢٢ . وقد استخدمها Briggs فى السنة نفسها لتحسين أصناف القمح والشعير ، بإكسابهما صفات المقاومة لبعض الأمراض الهامة .

برنامج التهجين الرجعى لنقل صفة بسيطة سائدة

خطوات برنامج التربية

تكون خطوات برنامج التربية لنقل جين سائد (وليكن A) من الأب المعطى (الذى يكون تركيبه الوراثى AA) إلى الأب الرجعى (الذى يكون تركيبه الوراثى aa) كما يلى :

١- يلقح الأب الرجعى مع الأب المعطى لإنتاج نباتات الجيل الأول (F_1) التى يكون تركيبها الوراثى Aa .

٢- تلقح نباتات الجيل الأول - رجعياً - إلى الأب الرجعى ؛ لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول (F_1BC_1) ، التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) - بنسبة ١ : ١ - فى الصفة التى يراد نقلها .

٣- تلقح نباتات الجيل الأول للتهجين الرجعى الأول الحاملة للصفة (أى التى يكون تركيبها الوراثى Aa) رجعياً إلى الأب الرجعى لإنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى الثانى ($F_1\ BC_2$) التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) - بنسبة ١ : ١ - فى الصفة التى يراد نقلها .

٤- يستمر برنامج التهجين الرجعى على النحو السابق إلى حين إنتاج بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس $F_1\ BC_6$ ، التى تكون هى الأخرى منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) - بنسبة ١ : ١ - فى الصفة التى يُراد نقلها .

٥- تزرع بذور الجيل الأول للتهجين الرجعى السادس ، وتستبعد النباتات الحاملة للصفة المتنحية غير المرغوب فيها ، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتياً ؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتهجين الرجعى السادس F_2BC_6 التى تكون منعزلة إلى متنحية أصيلة (aa) ، وخليطة (Aa) ، وأصيلة (AA) - بنسبة ١ :٢: ١- فى الصفة التى يُراد نقلها.

٦- تزرع بذور الجيل الثاني للتهجين الرجعي السادس ، وتستبعد النباتات التي تكون حاملة للصفة المتنحية غير المرغوبة ، وتلقح النباتات الحاملة للصفة السائدة ذاتيًا ؛ لإنتاج بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعي السادس F_3BC_6 .

٧- تزرع بذور الجيل الثالث للتهجين الرجعي السادس (وهى أنسال النباتات الفردية الحاملة للصفة المرغوب فيها من الجيل الثاني للتلقيح الرجعي السادس) . يلاحظ أن ثلثي الانسال تنعزل نباتاتها بنسبة ٣ تحمل الصفة السائدة : ١ تحمل الصفة المتنحية ، وهى التي تنتج من نباتات الجيل الثاني للتهجين الرجعي السادس (F_2 BC_6) التي كان تركيبها الوراثي Aa ، وتستبعد جميع هذه الأنسال التي تظهر بها انعزالات في الصفة التي يُراد نقلها ، أما الثلث المتبقي من الأنسال .. فإن جميع نباتاته تكون حاملة للصفة السائدة ، ويكون تركيبها الوراثي AA ، وتلقح هذه الأنسال – ذاتياً – لإنتاج بذور الجيل الرابع للتهجين الرجعي السادس F_4 BC_6 ، وهى التي تخلط معاً ، وتشكل بذور المربي Breeder Seed للصنف الجديد ، الذي يكون مماثلاً للأب الرجعي في جميع الصفات ، فيما عدا احتوائه على الصفة السائدة المرغوب فيها بحالة أصيلة .

ولكن كيف تُسترد جميع صفات الأب الرجعي بعد أن كان قد لُقح مع الأب المعطى في بداية برنامج التربية ؟ هذا ما نوضحه في الجزء التالي .

استرداد صفات الأب الرجعي وتتبعها

نظراً لأن الغرض من برنامج التربية هو إنتاج صنف جديد يماثل الصنف الأصلي (الأب الرجعي) في جميع الصفات ، ولكن مع إضافة الصفة المطلوبة من الأب المعطى ؛ لذا .. يكون من المهم تتبع صفات الأب الرجعي خلال أجيال التربية ، ويؤدى التلقيح الأول بين الأب الرجعي ، والأب المعطى إلى إنتاج جيل ، يكون قد تلقى نصف أليلاته (عوامله الوراثية) من الأب الرجعي ، والنصف الآخر من الأب المعطى ويلاحظ عدم وجود فرصة للانتخاب لصفات الأب الرجعي في هذا الجيل ؛ نظراً لأن نباتاته تكون متجانسة ولاتظهر بينها أية انعزالات وراثية ، أما عند تلقيح نباتات الجيل الأول رجعيا إلى الأب الرجعي فإن النسل الناتج من هذا التلقيح (وهو F_1BC_1) يكون قد تلقى نصف أليلاته (عواملة الوراثية) من الأب الرجعي والنصف الآخر من الجيل الأول ، ونظرا لأن الجيل الأول كان قد تلقى نصف أليلاته من الأب الرجعي ؛ لذا .. فإن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعي

الأول تتلقى ٧٥٪ من آليلاتها من الأب الرجعى ، بينما تحصل على ٢٥٪ فقط من آليلاتها من الأب المعطى ، ومع كل تلقيح رجعى .. تقل نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى بمقدار النصف ؛ لتصبح ١٢٫٥٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 ، و ٦٫٢٥٪ فى الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 ... وهكذا ، وترتفع فى الوقت نفسه نسبة الآليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى ؛ لتصبح ٨٧٫٥٪ فى الـ F_1BC_2 ، و٩٣٫٧٥٪ فى الـ F_1BC_3 ... وهكذا . والمعادلة العامة لذلك - فى غياب الانتخاب لصفات الأب الرجعى ، والارتباط بين الصفة التى يراد نقلها ، وصفات أخرى غير مرغوبة - هى كما يلى :

$$\text{نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى} = \left(\frac{١}{٢}\right)^{ت+١} \times ١٠٠$$

حيث تمثل (ت) عدد التلقيحات الرجعية (فمثلا .. ت = صفر للتلقيح الأصلى بين الأب الرجعى والأب المعطى ، و ١ للتلقيح الرجعى الأول ... وهكذا) .

أما نسبة الآليلات المتحصل عليه من الأب الرجعى .. فيحصل عليها بطرح نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى من مئة .

فلو فرض أن أجريت ستة تلقيحات رجعية .. تكون ت = ٦ ، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب المعطى = $\left(\frac{1}{٢}\right)^{٦+١} \times ١٠٠$ = ٠٫٧٨٪ ، وتكون نسبة الآليلات المتحصل عليها من الأب الرجعى = ١٠٠ - ٠٫٧٨٪ = ٩٩٫٢٢٪ بعد ستة تلقيحات رجعية، وتصل هذه النسبة إلى ٩٩٫٩٥٪ بعد ١٠ تلحقيات رجعية .

يتضح مما تقدم بيانه أن التلقيحات الرجعية تؤدى فى نهاية الأمر إلى استرداد جميع صفات الأب الرجعى . ومع ذلك .. فإنه يمكن الإسراع فى استرجاع هذه الصفات ، بانتخاب النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى خلال الأجيال الأولى من برنامج التربية . ومن المعتقد أن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعى تعادل - فى فاعليتها - تلقيحين رجعيين . ويكون الانتخاب لصفات الأب الرجعى غير مُجْدٍ - عادة - بعد التلقيح الرجعى الثالث ؛ لأن النباتات تكون قد أصبحت متجانسة إلى حد كبير .

هذا .. ولايؤثر التلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى على نسبة الآليلات المتحصل عليها

من الأب الرجعى ؛ حيث تبقى كما هى ، إلاّ إذا أخضع النسل الناتج من التلقيح الذاتى للانتخاب ، ويكون للانتخاب لصفات الأب الرجعى - فى هذه الحالة - نفس التأثير الذى سبق بيانه .

ونظراً لأن الأب الرجعى يتكون - عادة - من خليط من السلالات النقية (فى حالة المحاصيل الذاتية التلقيح) ؛ لذا .. كان من الضرورى استعمال عدد كاف من نباتاته فى كل تلقيح رجعى لكى تمثل ما يوجد به من اختلافات ، ولكى يمكن استعادة جميع صفاته ، ولذلك أهمية خاصة فى التلقيح الرجعى الأخير ؛ حيث يجب ألا يقل عدد نباتات الصنف الرجعى التى تستخدم فى هذا التلقيح عن ٣٠ نباتاً .

وجدير بالذكر .. أن الصفات التى تورث عن طريق السيتوبلازم لاتورث إلاّ عن طريق جاميطات الأم ؛ لذا .. فإنه يلزم - حينما يحتوى الأب الرجعى على صفات تورث عن طريق السيتوبلازم - أن يستعمل هذا الصنف كأم عند تلقيحه مع الأب المعطى فى بداية برنامج التربية ، ثم فى كل تلقيح رجعى بعد ذلك .

أهمية تتبع الصفات المنقولة

إن الهدف من برنامج التربية كله هو نقل صفة معينة مرغوب فيها إلى صنف جيد تنقصه هذه الصفة ؛لذا .. فإن تتبع هذه الصفة يجب أن يكون هو الهدف الأول للمربى فى جميع مراحل التربية ، فيجب توخى الحرص التام على أن تكون النباتات المنتخبة لتلقيحها - رجعيًا - تحتوى - فعلاً - على الصفة التى يُراد نقلها ، وبالتركيز الذى توجد عليه فى الأب المعطى . ويؤدى الفشل فى انتخاب هذه النباتات فى أية مرحلة من مراحل برنامج التربية إلى ضياع كل الجهود السابقة لتلك المرحلة ، إن لم يوجد لدى المربى احتياطى من البذور فى كل جيل ، لإعادة التقييم ، والانتخاب - عند الضرورة - للصفة التى يراد نقلها .

وتجدر الإشارة إلى أن الانتخاب لصفات الأب الرجعى لايمارس إلاّ على النباتات التى تحمل الصفة المنقولة ، أى تحدد - أولا - النباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها فى كل جيل ، ثم تنتخب من بينها النباتات التى تكون أقرب فى صفاتها إلى الأب الرجعى ؛ وذلك لأن جميع صفات الأب الرجعى يمكن أن تسترجع - تلقائياً بالتلقيح الرجعى - دون

أى انتخاب بينما يمكن أن تفقد الصفة التى يراد نقلها - بسهولة - إن لم يجر التقييم بعناية ؛ لمعرفة النباتات الحاملة لها لتلقيحها رجعياً .

مدى الحاجة إلى التلقيح الذاتى بعد كل جيل من أجيال التلقيح الرجعى

عندما يكون الأمر متعلقاً بنقل صفة بسيطة سائدة بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه لاتوجد حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتى ، بعد أى من التلقيحات الرجعية ، باستثناء التهجين الرجعى الأخير كما سبق بيانه . ويرجع ذلك إلى أن جميع النباتات التى تهجن - رجعياً - فى أى جيل تكون دائماً خليطة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها ؛ أى إنها تحمل الأليل المرغوب .

هذا ..إلاّ أن التلقيح الذاتى بعد التلقيحات الرجعية يكون أمراً مرغوباً فى الحالتين التاليتين :

١- فى الأنواع التى يصعب إجراء التلقيح الصناعى فيها .. خاصة ، حينما لايعطى التلقيح سوى بذرة واحدة أو عدد قليل من البذور ؛ حيث يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لإتاحة الفرصة لانتخاب نباتات تحتوى على الصفة التى يُراد نقلها مع أكبر قدر ممكن من صفات الأب الرجعى .

٢- فى الحالات التى يكون فيها الأب المعطى بريًا ، أو يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوبة ؛ يوصى - فى هذه الحالة - بإنتاج الجيلين الثانى والثالث بعد كل من التلقيح الرجعى الأول ، والثالث ، والسادس لإتاحة فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى .

وبالإضافة إلى ما تقدم .. فإن التلقيح الذاتى يكون ضروريًا فى حالات نقل الصفات المتنحية ، والكمية ، وذات درجات التوريث المنخفضة كما سيأتى بيانه فيما بعد .

عدد التلقيحات الرجعية اللازمة

يختلف عدد التلقيحات الرجعية التى تجرى - عادة - من ثلاثة إلى عشرة ، ويكتفى بالعدد القليل من التلقيحات الرجعية فى الحالات التالية

١- عندما يكون الأب المعطى صنفا تجاريًا يحتوى على بعض الصفات الأخرى

الهامة ، التى يُرغب فى الاحتفاظ بها فى الصنف الجديد .

٢ عندما لاتوجد اختلافات كثيرة بين الأب الرجعى والأب المعطى .

٣- عندما تكون الصفة التى يُراد نقلها مرتبطة بصفات أخرى غير مرغوب فيها ؛ حيث يفضل فى هذه الحالة الاكتفاء بثلاثة تلقيحات رجعية لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_1BC_3 الذى تكون نباتاته قد تلقت ٩٣,٧٥٪ من آليلاتها(عواملها الوراثية)من الأب الرجعى ، ثم تجرى عليها التلقيح الذاتى لعدة أجيال بعد ذلك ؛ لإعطاء فرصة لحدوث عبور يؤدى إلى كسر الارتباط بين الآليل الذى يتحكم فى الصفة التى يراد نقلها ، والآليلات التى تتحكم فى الصفات الأخرى غير المرغوبة .

ونجد فى الحالات السابقة أن الصنف الجديد لايكون تام التشابه مع الأب الرجعى نظراً لأنه لايتم استعادة كل صفاته ، إما عن قصد كما فى الحالتين الأولى والثانية ، وإما لكسر ارتباط غير مرغوب فيه كما فى الحالة الثالثة .

وإذا أجريت ستة تلقيحات رجعية ، مع الانتخاب الشديد لصفات الأب الرجعى فى الأجيال الأولى من برنامج التربية .. فإن ذلك يكون كافياً لاستعادة كل صفات الأب الرجعى تقريباً ؛ لأن كل دورة من الانتخاب لصفات الأب الرجعى تعادل تلقيحاً أو تلقحين رجعيين ، أما عند إجراء عشرة تلقيحات رجعية .. فإن الصنف الجديد يكون مماثلاً للصنف الأصلى ، فيما عدا الصفة التى نقلت إليه ، ويعدّ ذلك ضرورياً عندما يكون فى النية إعطاء الصنف الجديد اسم الصنف السابق نفسه مضافاً إليه رقماً أو حرفاً ، كما يكون ضرورياً كذلك عندما يكون الأب المعطى سلالة غير مزروعة أو نوعاً برياً يحتوى على صفات كثيرة غير مرغوبة .

أعداد النباتات التى تلزم زراعتها خلال برنامج التربية

يعطى Allard (١٩٦٤) أعداد النباتات التى تجب زراعتها فى كل جيل من برنامج التربية عند الرغبة فى نقل صفة بسيطة سائدة (AA) إلى الأب الرجعى على النحو التالى :

٥٣ نباتاً من كل تلقيح رجعى (BC_n) .

٩٦ نباتاً من كل جيل ثان بعد أى تلقيح رجعى ($F_2\ BC_n$) .

٦٨ عائلة من الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى ($F_3\ BC_n$) . بكل منها ٢٤ نباتاً .

تعنى زراعة هذه الأعداد من النباتات احتمال قدره ٩٩٩ر٠ لظهور نبات واحد على الأقل تركيبه الوراثى "Aa" بعد كل تلقيح رجعى ، أو نبات واحد على الأقل تركيبه الوراثى (AA) فى الجيل الثالث لأى تلقيح رجعى ، كما تتيح زراعة هذه الأعداد من النباتات فرصة أكبر لانتخاب صفات الأب الرجعى .

ولمزيد من التفاصيل عن أعداد النباتات التى تلزم زراعتها للحصول على عدد معين من النباتات التى تحمل الصفة التى يُراد نقلها عند اختلاف نسب ظهور هذه النباتات ، وعند اختلاف احتمالات الفشل فى العثور على هذه النباتات .. يراجع جدول (٢ – ٤) .

تأثير التلقيح فى الأصالة الوراثية

كما أن التلقيح الرجعى يؤدى إلى استرجاع جميع صفات الأب الرجعى .. فإنه يؤدى كذلك إلى زيادة نسبة الأصالة الوراثية – تدريجيا – فى حالة إجراء البرنامج على النباتات الذاتية التلقيح . ويمكن الاستدلال على درجة الأصالة الوراثية فى أى جيل من المعادلة التالية :

$$\text{نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة} = \left(\frac{٢^{م} - ١}{٢^{م}}\right)^{ن} \times ١٠٠$$

حيث تمثل (م) مجموع عدد التلقيحات الرجعية والذاتية التى سبقت الوصول إلى الجيل الذى يُراد حساب نسبة التراكيب الوراثية الأصيلة فيه ، و (ن) عدد أزواج العوامل الوراثية التى يختلف فيها الأب الرجعى عن الأب المعطى . وتلك هى نفس المعادلة التى سبق ذكرها فى الفصل التاسع . وهى تطبق فى هذا المقام ؛ لأن التلقيح الرجعى لايختلف من حيث تأثيره فى الأصالة الوراثية – عن التلقيح الذاتى . ويعنى ذلك أن الجيل الرابع للتلقيح الرجعى السادس (F_4BC_6) – الذى تم التوصل إليه فى برنامج التربية المشروح آنفاً لنقل صفة بسيطة سائدة – تكون فيه م = ٦ (تلقيحات رجعية) + ٢ (تلقيحات ذاتية) = ٩ . هذا .. ويكون من غير الممكن تطبيق هذه المعادلة فى معظم برامج التربية بالتهجين الرجعى ؛ نظراً لأن الأبوين : الرجعى ، والمعطى يختلفان – عادة فى عدد كبير – غير معلوم – من العوامل الوراثية ، وبذا .. تكون (ن) غير معلومة القيمة .

برنامج التهجين الرجعى لنقل الصفات فى الحالات الأخرى

كانت حالة نقل صفة بسيطة سائدة التى سبق شرحها أبسط الحالات التى يجرى فيها برنامج التربية بالتهجين الرجعى ؛ لسهولة تمييز النباتات التى تحمل الصفة التى يُراد نقلها بعد كل تلقيح رجعى مباشرة . ولايختلف برنامج التربية بالتهجين الرجعى لنقل أية صفة أخرى – فى جوهره – عما سبق بيانه بالنسبة للصفة البسيطة السائدة ، وتنحصر أوجه الاختلاف – دائماً – فيما يجب عمله لمعرفة النباتات التى تحمل الصفة المرغوبة خلال أجيال التربية .

نقل صفة بسيطة ذات سيادة غير تامة

عندما تكون الصفة المراد نقلها بسيطة ، وذات سيادة غير تامة Incomplete Dominance – أى حينما يكون الفرد الخليط (Aa) متميزاً فى شكله المظهرى عن الفردين : السائد الأصيل (AA) ، والمتنحى الأصيل (aa) – فإن تمييز النباتات الحاملة للتركيب الوراثى المرغوب يكون أسهل لغياب السيادة . ولايوجد – فى هذه الحالة – أى داع للتلقيح الذاتى بعد أى تلقيح رجعى ، سوى بعد التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السادس F_1BC_6 الذى تظهر فيه نباتات متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa) بنسبة ١ : ١ فإذا كانت الصفة المرغوبة هى المتنحية .. تستعمل النباتات الحاملة لهذه الصفة مباشرة ، كبذور مربى لإكثار الصنف الجديد . أما إذا كانت الصفة المرغوبة هى السائدة .. فإنه يلزم فى هذه الحالة تلقيح النباتات التى تحمل الصفة بحالة خليطة (Aa) تلقيحاً ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى للتلقيح الرجعى السادس (F2BC6) ، الذى تنعزل فيه النباتات إلى متنحية أصيلة (aa) وخليطة (Aa) ، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١ : ٢ : ١ ، و تستعمل الفئة الأخيرة من النباتات (وهى السائدة الأصيلة) كبذور مربٍ ، حيث يمكن تمييزها عن النباتات الخليطة لغياب السيادة .

نقل صفة بسيطة متنحية

تُتبع فى نقل الصفة البسيطة المتنحية نفس الخطوات التى سبق بيانها بالنسبة للصفة البسيطة السائدة ، مع مراعاة أن تحمل النباتات المنتخبة فى كل جيل – لتلقيحها رجعيًا – أليلاً واحداً على الأقل للصفة المتنحية التى يراد نقلها ؛ أى إن هذه النباتات إما أن تكون

خليطة Aa ، وإما متنحية أصيلة aa . ونظراً لأن نباتات الجيل الأول (التى تنشأ من تلقيح الأب المعطى aa مع الأب الرجعى AA) تكون خليطة (Aa) ؛ لذا .. فإنها تلقح رجعيا مباشرة لإنتاج نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ، وهى التى تنعزل إلى خليطة (Aa) ، وسائدة أصيلة (AA) بنسبة ١ : ١ ، ولكنها تكون جميعها متشابهة مظهريا . وهنا يتعين على المربى أن يتبع إحدى ثلاث طرق لضمان استمرار وجود الأليل المتنحى (a) فى النباتات التى تلقح رجعيًا ، وهى كما يلى :

١- تلقيح كل نبات من نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتيًا ؛ لإنتاج بذور الجيل الثانى للتقليح الرجعى الأول F_2BC_1 : تنقسم الأنسال المنتجة إلى فئتين متساويتين : فئة تظهر بجميع نباتاتها الصفة السائدة ، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات السائدة الأصيلة ، ويتم استبعادها ، وفئة ينعزل فيها النسل إلى نباتات متنحية وأخرى سائدة ، بنسبة ١ : ٣ ، وهى التى تنتج من التلقيح الذاتى للنباتات الخليطة . وتنتخب النباتات الحاملة للصفة المتنحية – لأنها تكون أصيلة (aa) – وتلقح رجعيًا لإنتاج بذور الجيل الأول للتقليح الرجعى الثانى ، F_1BC_2 ، ويستمر اتباع الأسلوب نفسه مع بقية التلقيحات الرجعية . ويفضل اتباع هذه الطريقة ، عندما لاتوجد حاجة ملحة إلى العجلة فى برنامج التربية .

٢- اتباع نفس الطريقة السابقة – أى تلقيح نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 ذاتياً – ولكن مع تلقيح كل نبات منه – كذلك – فى نفس الوقت – رجعيًا إلى الأب الرجعى ، لإنتاج بذور الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 . وبناء على نتائج الانعزالات المشاهدة فى الجيل الثانى للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_2 .. يستمر برنامج التربية مع نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 التى استخدم فى إنتاجها نباتات ظهر فى نسلها – الناتج من التلقيح الذاتى – أى فى الجيل الثانى للتقليح الرجعى الأول F_2BC_1 – انعزالات متنحية (يكون تركيبها الوراثى aa) ، وسائدة (يكون تركيبها الوراثى Aa ، و AA) بنسبة ١ : ٣ ؛ ويعنى ذلك أن هذه النباتات التى ظهرت الانعزالات فى نسلها عند تلقيحها ذاتياً كانت خليطة Aa . وقد لقحت هذه النباتات ذاتها – وهى من الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 – رجعياً إلى الأب الرجعى AA ، وهو ما يعنى أن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى – التى استخدمت هذه النباتات

الخليطة Aa فى إنتاجها - تنعزل إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١ : ١ . يستمر برنامج التربية مع هذه النباتات ، ويتبع نفس الأسلوب مع بقية التلقيحات الرجعية .

يؤدى اتباع هذه الطريقة إلى تقصير المدة اللازمة لإجراء التلقيحات الرجعية إلى النصف ، ولكنها تتطلب جهداً إضافياً فى إنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيح رجعى مع زيادة عدد التلقيحات التى ينبغى إجراؤها عند كل تهجين رجعى ، وزيادة أعداد النباتات التى تلزم زراعتها . ويوصى - عند اتباع هذه الطريقة - بالعدول عنها إلى الطريقة الأولى بعد كل تلقيحين رجعيين ، لانتخاب نباتات متنحية أصيلة aa ، هى التى يستمر معها برنامج التربية لكى تشاهد النباتات الحاملة للصفة التى يراد نقلها - على فترات - خلال برنامج التربية .

٣- يمكن الاستمرار فى برنامج التربية كما لو كانت الصفة سائدة ، ولكن مع إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيحين رجعيين ، فيلقح الأب المعطى (aa) مع الأب الرجعى Aa ، ثم يلقح الجيل الأول Aa رجعياً إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الأول F_1BC_1 الذى ينعزل إلى نباتات خليطة Aa وسائدة أصيلة AA بنسبة ١ :١ ، وتبدو جميعها - مظهرياً - سائدة بالنسبة للصفة التى يُراد نقلها . يلقح عدد كبير من نباتات هذ الجيل - رجعياً - إلى الأب الرجعى لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الثانى F_1BC_2 . تبدو جميع نباتات هذا الجيل - مظهرياً - سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها ولكن تركيبها الوراثى يتوقف على النبات الذى استخدم فى التلقيح الرجعى الثانى ؛ فالنباتات السائدة الأصيلة AA تعطى عند تلقيحها رجعيًا نباتات سائدة أصيلة أيضاً ، أما النباتات الخليطة Aa فإنها تعطى عند تلقيحها رجعيا نباتات تنعزل إلى خليطة Aa ، وسائدة أصيلة ، بنسبة ١ : ١ ؛ أى إن نباتات الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثانى F_1BC_2 تنعزل - عملياً - إلى خليطة Aa وسائدة أصيلة بنسبة ١ : ٣ . يلقح عدد كبير من نباتات هذا الجيل ذاتياً ؛ لإنتاج الجيل الثانى للتهجين الرجعى الثانى F_2BC_2 ، وتستبعد جميع الأنسال التى تبدو سائدة بالنسبة للصفة التى يراد نقلها ، سواء أكانت خليطة Aa ، أم أصيلة AA ، ويحتفظ فقط بالنباتات التى تحمل الصفة التى يراد نقلها ، والتى تكون متنحية أصيلة aa وتلقح هذه النباتات - رجعيًا - إلى الأب الرجعى ؛ لإنتاج الجيل الأول للتلقيح الرجعى الثالث F_2BC_3 ... وهكذا .. يستمر برنامج التربية على هذا النحو ، بإنتاج الجيل الثانى بعد كل تلقيحين رجعيين .

ويتعين – فى جميع الحالات – إجراء التلقيح الذاتى بعد التلقيح الرجعى الأخير ؛ لعزل النباتات التى تحمل الصفة المرغوب فيها بحالة أصيلة ؛ فلو كان التلقيح الرجعى الأخير هو السابع .. فإن نباتاته تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثانى F_2BC_7 الذى تنتخب منه النباتات الحاملة للصفة المتنحية بحالة أصيلة aa ، وتلقح ذاتيًا لإنتاج بذور الجيل الثالث F_3BC_7 التى تعد بذور المربى .

نقل صفة كمية

يتطلب نقل الصفات الكمية إنتاج الجيلين الثانى والثالث ، بعد كل تلقيح رجعى ؛ ليمكن تأصيل الصفة التى يُراد نقلها فى النباتات التى تلقح رجعياً ؛ فتلقح النباتات الناتجة من أى تلقيح رجعى ذاتيًا ؛ لإنتاج الجيل الثانى الذى تنتخب منه أكثر النباتات إظهاراً للصفة التى يراد نقلها ، وهى التى تلقح ذاتيًا لإنتاج الجيل الثالث ؛ لتحقيق هدفين ، هما : اختبار نسل النباتات المنتخبة للتأكد من حملها للصفة ، وانتخاب نباتات أصيلة فى جميع الجينات التى تتحكم فى الصفة التى يُراد نقلها لتلقيحها رجعيا ، ويتكرر هذا الإجراء بعد جميع التلقيحات الرجعية ، بما فى ذلك التلقيح الرجعى الأخير – وليكن السابع – ثم تلقح النباتات المنتخبة من التلقيح الرجعى الأخير (أى F_3BC_7) ذاتياً لإنتاج بذور الجيل الرابع (F_4BC_7) ، التى تعد بمثابة بذور المربى .

يتبع نفس الأسلوب السابق عند الرغبة فى نقل الصفات الكمية ذات درجات التوريث المنخفضة ، ولكن يلزم – فى هذه الحالة – زراعة أعداد كبيرة من نباتات الجيلين الثانى والثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لأن درجة التوريث المنخفضة تؤدى إلى صعوبة معرفة التراكيب الوراثية المرغوب فيها . وقد يتطلب الأمر إنتاج الجيل الرابع بعد كل تلقيح رجعى للتأكد من تواجد الصفة بحالة أصيلة فى النباتات المنتخبة قبل تلقيحها رجعيًا .

وجدير بالذكر أن درجة توريث الصفة تعد أكثر أهمية من كونها بسيطة ، أو كمية ؛ إذ يكون من الأسهل تتبع صفة كمية ذات درجة توريث مرتفعة عن صفة بسيطة ذات درجة توريث منخفضة .

نقل صفتين أو أكثر إلى صنف واحد

إذا احتوى الصنف المعطى على صفتين هامتين أو أكثر ، ورغب المربى فى نقلها معًا

إلى الصنف الرجعى .. فإنه يسلك فى سبيل تحقيق ذلك إحدى طريقتين ؛ هما :

١- نقل الصفات معًا فى برنامج تربية واحد :

يلزم فى هذه الحالة زراعة أعداد كبيرة من نباتات كل جيل رجعى ، وكذلك عند إنتاج الجيلين الثانى أو الثالث بعد كل تلقيح رجعى ؛ لإتاحة الفرصة لظهور انعزالات تجمع الصفات المراد نقلها معًا ، ويراعى - عند نقلها - كل ما سبق بيانه بالنسبة لنوعيات الصفات المختلفة .

٢- نقل الصفات فى برامج تربية مستقلة ومتوازية :

تعامل كل صفة مستقلة فى برنامج تهجين رجعى منفصل ، وفى نهاية البرامج .. نحصل على أصناف جديدة ، لا تختلف عن الأب الرجعى إلا فى احتواء كل منها على صفة جديدة من الصفات المراد نقلها . وبتلقيح هذه الأصناف معًا ، ثم إنتاج الجيل الثانـى .. نحصل على انعزالات وراثية ، تجمع الصفات المرغوبة معًا بحالة أصيلة بالإضافة إلى بقية صفات الأب الرجعى . هذا .. ويفضل اتباع هذه الطريقة على الطريقة الأولى ؛ لأنه قد يصعب تقييم النباتات فى كل الصفات التى يراد نقلها فى آن واحد ، ولأنها - أى الطريقة الأولى - تحتاج إلى زراعة أعداد كبيرة من النباتات بعد كل تلقيح رجعى للحصول على نبات واحد على الأقل من التركيب الوراثى المرغوب ؛ فعلى سبيل المثال .. تلزم زراعة ٧٢ نباتاً على الأقل بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد - على الأقل - خليط فى أربعة عوامل وراثية - مع احتمال فشل ١٪ - عند الرغبة فى نقل أربع صفات بسيطة سائدة - معًا - مرة واحدة .. بينما تلزم زراعة ٧ نباتات فقط بعد كل تلقيح رجعى للعثور على نبات واحد على الأقل خليط فى إحدى هذه الصفات - مع احتمال فشل ١٪ عند الرغبة فى نقلها فى برامج تربية مستقلة ومتوازية ؛ فيكون - بالتالى - عدد النباتات التى تلزم زراعتها فى البرامج الأربعة هو ٧ × ٤ = ٢٨ نباتاً فقط .

تأثير الارتباط بين الصفة المنقولة وغيرها من الصفات على برنامج التربية

تنتقل الصفات المرتبطة بالصفة التى يُراد نقلها بالتلقيح الرجعى - تلقائيًا - مع الصفة المطلوبة جيلاً بعد جيل . وغالباً ماتكون هذه الصفات غير مرغوب فيها ، خاصة أن طريقة

التهجين الرجعى تستخدم فى نقل بعض الصفات من الأنواع البرية القريبة إلى الأنواع المزروعة ، بينما تحتوى الانواع البرية على صفات كثيرة غير مرغوب فيها قد تكون مرتبطة بالصفات التى يُراد نقلها . وبالرغم من ذلك .. فإن فرصة التخلص من الصفات غير المرغوبة تكون كبيرة ، ويتوقف ذلك على نسبة العبور بين هذه الجينات والجين المرغوب فيه ، وعدد التلقيحات الرجعية ؛ فبافتراض قصر الانتخاب على الصفة التى يُراد نقلها فقط (أى عدم إجراء أى انتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها) .. فإن احتمال التخلص من الصفات المرغوبة = ١ - (١ - ع) $^{ت+١}$ ؛ حيث تمثل (ع) نسبة العبور ، و (ت) عدد التلقيحات الرجعية .

يبين جدول (١٢-١) احتمالات التخلص من الجينات غير المرغوب فيها فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال ، والتلقيح الذاتى بفرض حدوث عبور بنسب تتراوح من ٠,٠٠١ إلى ٠,٥ ، مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط . ويتبين من الجدول أن التهجين الرجعى يزيد من فرصة التخلص من الصفات غير المرغوبة عن التلقيح الذاتى . أما عندما يجرى الانتخاب ضد الصفات غير المرغوب فيها أيضًا .. فإن التلقيح الذاتى يزيد من فرصة التخلص منها ؛ لأن العبور يمكن أن يحدث - فى هذه الحالة - بين الصفة المرغوبة وغير المرغوبة فى كلا الأبوين ، بينما لايحدث العبور - فى حالة التلقيح الرجعى - سوى فى الأب الرجعى فقط .

جدول (١٢-١) : احتمال التخلص من الجينات غير المرغوبة المرتبطة مع الجين الذي يُراد نقله فى حالتى التلقيح الرجعى لخمسة أجيال ، والتلقيح الذاتى مع الانتخاب للصفة المرغوبة فقط (عن Allard ١٩٦٠).

نسبة العبور	احتمال التخلص من الجينات غير المرغوبة: عند إجراء خمسة تلقيحات رجعية	احتمال التخلص من الجينات غير المرغوبة: فى حالة التلقيح الذاتى
٠,٥٠	٠,٩٨	٠,٥٠
٠,٢٠	٠,٧٤	٠,٢٠
٠,١٠	٠,٤٧	٠,١٠
٠,٠٢	٠,١١	٠,٠٢
٠,٠١	٠,٠٦	٠,٠١
٠,٠٠١	٠,٠٠٦	٠,٠٠١

برنامج التهجين الرجعى مع مختلف العشائر النباتية

عشائر النباتات الذاتية التلقيح

ينطبق كل ما سبق بيانه عن التربية بالتهجين الرجعى على عشائر النباتات الذاتية التلقيح . ويراعى – عندما تتكون العشيرة من عدد من السلالات النقية – وهو ما يحدث غالباً – أن يستعمل عدد من نباتات الأب الرجعى فى كل تلقيح رجعى ، للإبقاء على أكبر قدر من التباينات التى قد توجد فيه .

عشائر النباتات الخلطية التلقيح

تستخدم طريقة التهجين الرجعى فى تحسين السلالات المرباة تربية داخلية من عشائر النباتات الخلطية التلقيح ، وتكون طريقة التربية – فى هذه الحالة – مماثلة تماماً للطريقة التى تتبع مع النباتات الذاتية التلقيح . أما عند تحسين عشائر النباتات الخلطية التلقيح بطريقة التهجين الرجعى .. فإنه تلزم مراعاة أمرين ؛ هما :

١- تكون عشائر النباتات الخلطية التلقيح على درجة عالية من عدم التجانس الوراثى highly heterogenous ؛ لذا .. يجب استخدام عدد كبير من نباتات الصنف الذى يُراد تحسينه ؛ لتمثيل ما توجَد به من اختلافات وراثية ، وللمحافظة على نسب الأليلات allelic frequencies للمواقع الجينية المختلفة فى العشيرة .

٢- تفقد بعض المحاصيل الخلطية التلقيح قوة نموها بسرعة شديدة بالتربية الداخلية ، وتصعب – فى هذه الحالات – نقل الصفات الكمية ، والصفات ذات درجات التوريث المنخفضة ، وهى التى تتطلب إجراء التلقيح الذاتى لإنتاج الجيل الثالث – وربما الرابع – بعد كل تلقيح رجعى ؛ ذلك لأن التربية الداخلية تؤدى إلى تدهور النباتات ، مع صعوبة تمييز التراكيب الوراثية المرغوبة .

وقد اتبعت طريقة التهجين الرجعى فى تحسين عديد من النباتات الخلطية التلقيح ، مثل القرعيات (القرع ، والخيار ، والشمام ، والبطيخ) ، والبرسيم الحجازى ، لإدخال صفات مهمة إليها ، خاصة صفات المقاومة للآفات ، فأمكن فى البرسيم الحجازى – مثلاً – إدخال صفات المقاومة لأمراض الذبول البكتيرى ، والبياض ، وتبقع الأوراق إلى الصنف

كاليفردى Caliverde ، وقد استخدم فى هذا البرنامج أكثر من ٢٠٠ نبات من الأب الرجعى فى كل تهجين رجعى .

عشائر النباتات الخضرية التكاثر

يستحيل إجراء التربية بطريقة التهجين الرجعى - كما سبق بيانها فى هذا الفصل - لنقل صفة من صنف غير مرغوب فيه إلى صنف مرغوب فيه ، يكثر - تجارياً - بطرق التكاثر الخضرى ؛ ذلك لأن مثل هذه النباتات تكون خليطة (غير متماثلة) Heterozygous بدرجة عالية (يراجع لذلك الفصل الثالث) ، ويؤدى اللجوء إلى التكاثر الجنسى - كما هو متوقع عند التربية بطريقة التهجين الرجعى - إلى ظهور انعزالات وراثية كثيرة ، يصل عددها إلى ٣ ^ن^ ؛ حيث تمثل (ن) عدد المواقع الجينية الخليطة فى الأب الرجعى ، وهى التى يمكن أن تزيد على مئة جين ، ويتبين من ذلك .. استحالة العثور على التركيب الوراثى المماثل للأب الرجعى بعد التلقيح الرجعى ، فضلاً على عدم العلم أصلاً بهذا التركيب الوراثى فى كُلِّيَته . كما يؤدى التلقيح الرجعى (وهو بين نباتات منتخبة خليطة والأب الرجعى ، وهو خليط أيضاً) إلى ظهور بعض الانعزالات الوراثية الأصيلة ، مما يؤدى إلى ضعف قوة النمو .

وخلاصة القول إنه يستحيل إنتاج صنف جديد من محصول خضرى التكاثر - بطريقة التهجين الرجعى - يكون مماثلا للصنف الأصلى (الرجعى) فى جميع الصفات ما عدا الصفة التى يُراد نقلها إليه .

هذا .. إلا أن طريقة التهجين الرجعى تستخدم مع المحاصيل الخضرية التكاثر لنقل صفات مرغوبة من الأنواع البرية ، أو من أصناف غير محسنة إلى جيرمبلازم محسن ، فيلقح الصنف التجارى (الأب الرجعى) مع السلالة المحتوية على الصفة التى يراد نقلها (الأب المعطى) ويستمر برنامج التربية - بعد ذلك - كالعادة ، وإذا حدث تدهور فى قوة النمو يستخدم صنف محسن جديد من نفس النوع المحصولى فى كل تهجين رجعى . وتؤدى الطريقة فى كلتا الحالتين إلى إدخال الصفة المرغوبة فى تراكيب وراثية جديدة كثيرة محسنة ، يمكن انتخاب أفضلها ، وإكثاره خضريا ليصبح صنفاً جديداً . ولكن هذا الصنف الجديد لايكون مماثلاً للصنف الأصلى (الرجعى) ، وقد اتبعت هذه الطريقة فى تحسين بعض المحاصيل التى تتكاثر خضرياً مثل البرتقال والجريب فروت .

مزايا التربية بطريقة التهجين الرجعى وعيوبها

توفر طريقة التهجين الرجعى المزايا التالية :

١- تعطى نتائج يمكن التنبؤ بها وتكرارها .

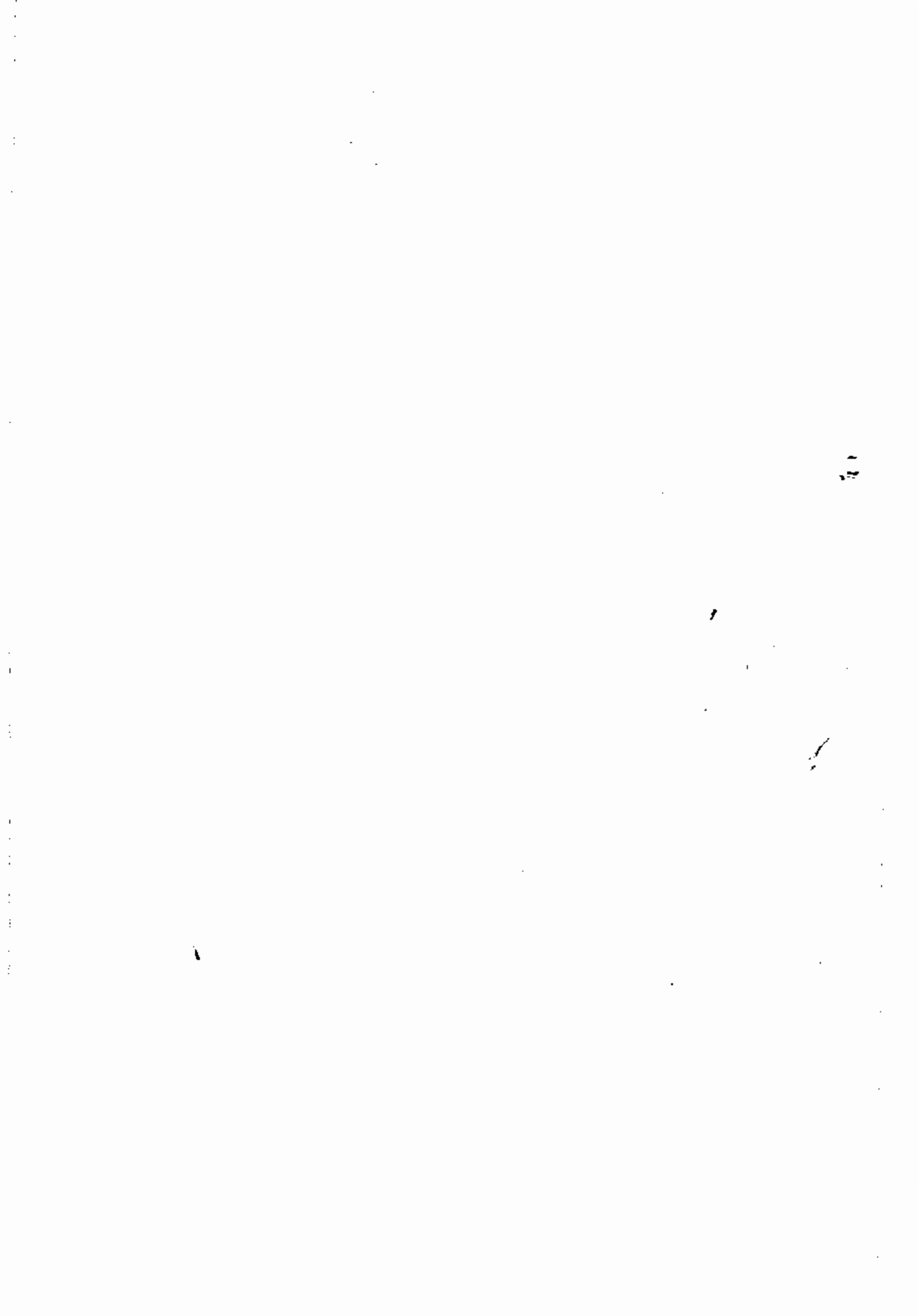
٢- تعد طريقة سريعة للتربية ؛ حيث تتطلب عدداً أقل من الأجيال ، مع زراعة عدد أقل من النباتات فى كل جيل ، عما فى طرق التربية الأخرى .

٣- تفيد هذه الطريقة فى إضافة صفات جيدة باستمرار إلى صنف ناجح ، كما تفيد - بالتالى - فى خفض عدد الأصناف المتداولة من المحصول .

٤- يمكن تنفيذ برنامج التربية بالتهجين الرجعى فى ظروف مخالفة للظروف التى يزرع فيها المحصول ؛ كأن يجرى فى البيوت المحمية ، أو فى مناطق أخرى غير مناطق إنتاج المحصول .

٥- تجعل هذه الطريقة إجراء اختبارات الجودة على صفات الأب الرجعى غير ضرورية ، بعد الانتهاء من برنامج التربية ، كما لاتتطلب إجراء تقييم موسع للصنف الجديد ، قبل نشر زراعته ، لأنه يكون ذا مواصفات معروفة مقدماً .

ومن أهم عيوب هذه الطريقة أنها لاتمكن المربى من الحصول على تراكيب وراثية جديدة غير عادية ؛ لأن الغرض منها محدد منذ البداية .



الفصل الثالث عشر

الطفرات

تعرف الطفرة بأنها أى تغير فجائى فى التركيب الوراثى للفرد ، يترتب عليه تغير مُناظر فى شكله الظاهرى . ويوجد نوعان من الطفرات هما :

١- الطفرات العاملية Intragenic Mutations ، أو Gene Mutations :

وهى الطفرات التى تتضمن تغيرات فى التركيب الجزيئى للجين ، يترتب عليها تغيرات فى نشاطه . ويستدل على هذه النوعية من الطفرات من الأثر الذى تحدثه فى الشكل المظهرى للأفراد الحاملة لها .

٢- الطفرات غير العاملية Extragenic Mutations :

وهى الطفرات التى تتضمن تغيرات كروموسومية عددية أو تركيبية ؛ مثل حالات التضاعف ، والنقص والإضافة ، والانقلابات ، والانتقالات الكروموسومية ... إلخ . ويمكن الاستدلال على هذه النوعية من الطفرات بالدراسات السيتولوجية ، ومن الأثر الذى تحدثه فى الشكل المظهرى للأفراد الحاملة لها .

تحدث الطفرات تلقائياً فى الطبيعة ، وتختلف معدلات حدوثها ، باختلاف الأنواع النباتية ، وباختلاف الصفات فى النوع الواحد ، وتعد هى الأصل فى جميع الاختلافات

الوراثية المشاهدة ، ويرجع إليها الفضل الأكبر فى تطور محاصيلنا الزراعية ، وتحسينها . وقد حاول الإنسان - كذلك - استحداث الطفرات بواسطة العوامل المطفرة Mutagenic Agents ؛ بهدف استحداث تغيرات وراثية ، يمكن الاستفادة منها فى برامج التربية .

أنواع الطفرات غير العاملية

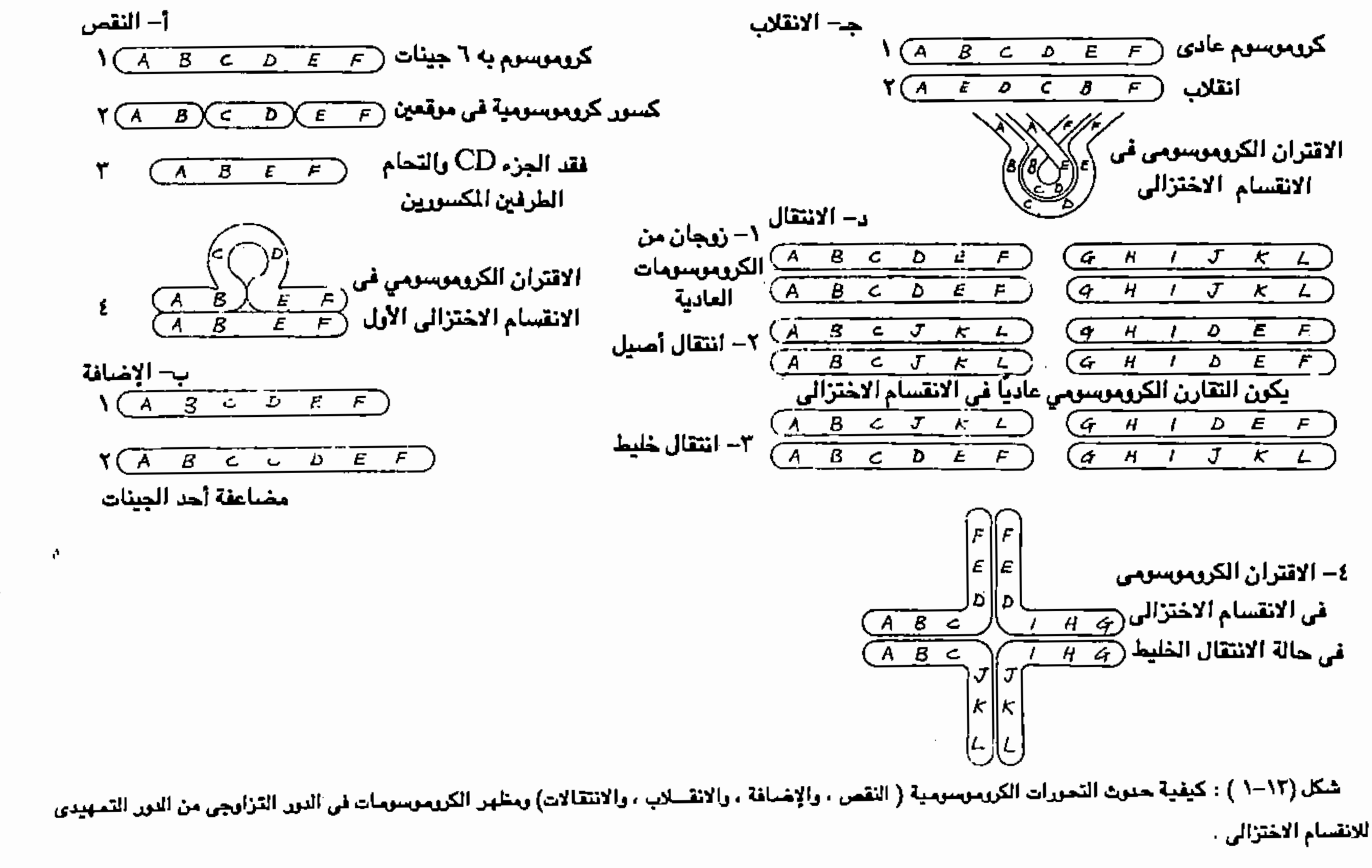
يطلق على الطفرات غير العاملية - سواء أكانت طبيعية أم مستحدثة - أسماء مختلفة، منها الاختلافات الكروموسومية العددية ، والتركيبية (وهى التحورات الكروموسومية Chromosomal Aberations) ويتطلب النوع الثانى حدوث كسر فى موضع واحد أو موضعين فى كروموسوم واحد أو فى كروموسومين . تبدو أطراف الكروموسومات التى كسرت - حديثاً - كأنها لزجة ؛ لأن هذه الأطراف تميل إلى الالتحام ثانياً مع بعضها ، لكن الالتحام قد يحدث مع أى طرف كروموسومى آخر مكسور . وينشأ من ذلك عدد من الاختلافات الكروموسومية التركيبية ، هى :

النقص أو الاقتضاب

تظهر حالات النقص أو الاقتضاب Deficiency إذا فقدت قطعة من الكروموسوم . فإذا فصلت قطعة كروموسومية عن جزء الكروموسوم الحامل للسنترومير .. فإن هذه القطعة اللاسنتروميرية (أى التى لاتحمل السنترومير) تصبح غير قادرة على التوجه نحو أى من قطبى الخلية ، وتبقى سابحة فى السيتوبلازم ، إلى أن تفقد بعد تكوين الغشاء النووى .

وقد يحدث كسر واحد عند أحد طرفى الكروموسوم ؛ وبذا .. يكون النقص طرفياً terminal ، أو قد يحدث كسر ، وتفقد القطعة الوسطية ، ويلتحم الطرفان المكسوران ؛ وبذا .. يكون النقص وسطياً intercalary ، ويعرف بالاقتضاب ، وتكون غالبية أنواع النقص الكروموسومى من النوع الوسطى . وتتكون حالات النقص الكروسومى فى أثناء الانقسام الاختزالى للنباتات الخليطة فى الانتقالات ، أو الانقلابات الكروموسومية . كما تظهر طبيعيا ، أو بعد المعاملة بالعوامل المطفرة . ويبين شكل (١٢ - أ) السلوك السيتولوجى للكروموسومات فى حالة النقص الكروموسومى .

ونجد فى حالات النقص الكروموسومى أن الجينات التى كانت تحمل على القطعة



شكل (١٢-١) : كيفية حدوث التحورات الكروموسومية (النقص ، والإضافة ، والانقلاب ، والانتقالات) ومظهر الكروموسومات فى الدور التزاوجى من الدور التمهيدى للانقسام الاختزالى .

الكروموسومية المفقودة قد فقدت تبعاً لذلك ، وقد يحدث ذلك تأثيراً ضاراً ، ولكن الأمر يتوقف على الأهمية الفسيولوجية للجينات التي فقدت . وربما يموت الفرد ، وتزداد احتمالات ذلك في الأفراد الأصيلة في الاقتضاب عما في الأفراد الخليطة . وتنطبق المبادئ نفسها على الجاميطات الحاملة للاقضاب ، إلا أن الجاميطات المؤنثة تكون أكثر قدرة على البقاء من الجاميطات المذكرة . وتعطى الاقتضابات غير المميتة مظاهر غير عادية ، وتظهر الصفات التي تتحكم فيها الأليلات المتنحية ؛ نتيجة لغياب الأليل السائد (hemizygosity) ، وتعرف هذه الحالة بالسيادة الكاذبة Pseudodominance .

ويستفاد من حالات النقص الكروموسومي في رسم الخريطة الكروموسومية ، على اعتبار أن غياب آليل سائد من مقطع كروموسومي يسمح للآليل المتنحي الذي قد يوجد في الكروسوم المماثل بإظهار تأثيره ، وتكون نسب الانعزالات في هذه الصفة مختلفة في الأفراد الخليطة في حالات النقص الكروموسومي ، عما في الأفراد العادية .

الإضافة

تتكون حالات الإضافة Duplication عندما يحتوى الكروموسوم على مقطع مكرر أكثر من مرة ، وهى تظهر في أثناء الانقسام الاختزالي للنباتات الخليطة في الانتقالات أو الانقلابات الكروموسومية . وتستعمل الإضافة في دراسة العلاقة الكمية لتأثير جين معين ، وسواء أكانت الإضافة أصيلة ، أم خليطة .. فلا يكون لها – عادة – أي تأثير ضار على الفرد . ولكن الإضافة تغير – في كثير من الأحيان – من الشكل الظاهرى لبعض الصفات ، وهو ما يعرف بالتأثير الموضعى Possition Effect ، كما تغير الإضافة من النسب المندلية العادية ، وتكون حبوب اللقاح المحتوية على الإضافة – عادة – أقل حيوية من حبوب اللقاح الطبيعية ، ولكن لم يلاحظ أي تأثير ضار للإضافة في حيوية البيضات .

الانتقالات الكروموسومية

يوجد نوعان من الانتقالات الكروموسومية Translocations ، هما :

١- انتقال بسيط simple translocation :

تنشأ حالات الانتقال البسيط عندما تكسر قطعة كروموسومية ، وتنتقل إلى كروموسوم

آخر غير مماثل له . لكن يلزم - فى هذه الحالة - حدوث كسر فى طرف الكروموسوم الذى انتقلت إليه القطعة الكروموسومية ؛ لأن أطراف الكروموسومات المكسورة لاتتصل إلاّ بأطراف كروموسومية مكسورة أيضاً . ولايعد هذا النوع من الانتقالات الكروموسية شائعاً .

٢- الانتقال المتبادل reciprocal translocation :

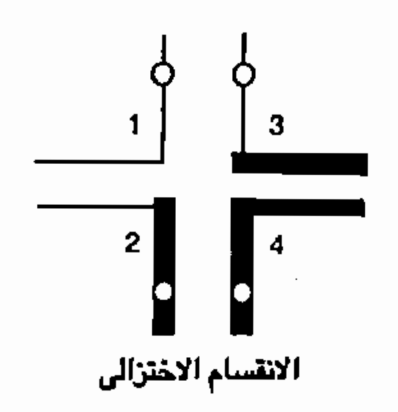
تنشأ حالات الانتقال المتبادل حينما تتبادل أجزاء متساوية أو غير متساوية بين كروموسومين غير متماثلين . وقد يكون الانتقال خليطاً أو أصيلاً . ويؤدى الانتقال المتبادل إلى تغير الارتباط ، لأن القطعة المتبادلة تصبح - بما تحمله من جينات - مرتبطة بمجموعة جديدة من الجينات ، كما أن الأفراد الخليطة للانتقال فى كروموسومين ، تكون نصف عقيمة ؛ بسبب حالات النقص والإضافة الكروموسومية التى تظهر فى الجاميطات . وتزيد نسبة العقم على ٥٠٪ ، إذا شمل الانتقال أكثر من كروموسومين .

يبين شكل (١٣-٢) طريقة تزاوج الكروسومات فى حالة الانتقال المتبادل ، وأنواع الجاميطات التى تتكون بعد انعزال الكروموسومات ؛ فالكروموسومات تتزاوج على شكل صليب لكى تقترب الأجزاء المتناظرة من بعضها ، ثم تنعزل الكروموسومات - بعد ذلك - بواحدة من طرق ثلاث ، هى الانعزال المتقابل ، أو الانعزال المتجاور ، مع وجود طريقتين للانعزال المتجاور ، كما هو مبين فى الشكل . وتنتج نصف الجاميطات من حالات الانعزال المتقابل ، وتكون خصبة ، بينما ينتج النصف الآخر من الجاميطات من حالتى الانعزال المتجاور ، وتكون عقيمة لما تحتويه من حالات إضافة أو نقص كروموسومى . ويكون عقم هذه الجاميطات تاماً بالنسبة لحبوب اللقاح ، بينما قد تكون بعض البيضات خصبة ، ويمكن تلقيحها بحبوب لقاح من تلك التى تنتج من الانعزال المتبادل ، وهو مايسمح بإنتاج نباتات بها نقص أو إضافة فى كل جيل .

هذا .. ويستفاد من حالات الانتقالات الكروموسية فيمايلى :

أ - الدراسات الوراثية :

يستفاد من حالات الانتقالات الكروموسومية فى دراسة وضع السنتروميرات وغيرها من المناطق الكروموسومية المميزة سيتولوجياً بالنسبة للجينات ، ومعرفة المجموعة



(٢) الانعزال المتجاور	(١) الانعزال المتجاور	الانعزال المتقابل
1 2	1 3	1 4
3 4	2 4	2 3
جاميطات بها نقص مزدوج	جاميطات بها نقص مزدوج	جاميطات كاملة
غير حية	غير حية	حية

شكل (١٣ - ٢) : كيفية اقتران الكروموسومات وانعزالها فى الانقسام الاختزالى الأول فى حالة الانتقال الكروموسومى المتبادل . يراجع المتن للتفاصيل .

الارتباطية التى تنتمى إليها الجينات ، والمجموعة الارتباطية التى يحملها الكروموسوم ، واستقلالية المجموعات الارتباطية .

ب - إنتاج السلالات الأصيلة :

أقتُرِحَ استعمال الانتقالات الكروموسومية المتعددة فى إنتاج السلالات الأصيلة . ويلزم لذلك توفر سلالة تحتوى على عدة انتقالات كروموسومية ؛ بحيث تعطى حلقة من جميع الكروموسات عندما تلقح مع نبات عادى . ويمكن إنتاج مثل هذه السلالات بتلقيح آباء تحتوى على انتقالات كروموسومية مختلفة . وإذا لقحت سلالة كهذه مع سلالة خليطة heterozygous .. فإن الجاميطات الخصبة الوحيدة التى تنتجها نباتات الجيل الأول تكون هى التى تحتوى على جميع الكروموسومات العادية (+) ، أو التى تحتوى على جميع الكروموسومات غير العادية (-) ، أى الانتقالية ؛ وعليه .. فإن التلقيح الذاتى لنباتات الجيل الأول يعنى إنتاج نسل تكون كروموسماته إما (+ +) ، أو (+ -) ، أو (- -) بنسبة ١ : ٢ : ١ . وتكون الأفراد الطبيعية (++) أصيلة وراثياً بالنسبة لجميع الجينات ؛ وبذا .. يمكن إنتاج سلالات أصيلة فى جيل واحد .

جـ - إنتاج البذرة الهجين :

اقترح استخدام الانتقالات الخليطة فى إنتاج الهجن ، علما بأن الانتقال الكروموسومى - فى هذه الحالة - يكون فى كروموسوم زائد ، يتكون من نصفى كروموسومين غير متماثلين ، أى يكون النبات ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة tertiary trisamic (يراجع لذلك الفصل الرابع عشر) .

الانقلاب

يحدث الانقلاب الكروموسومى Inversion حينما ينعكس وضع مقطع كروموسومى ١٨٠ درجة على نفس الكروموسوم ، وهو على نوعين كما يلى :

١- انقلاب سنتروميرى pericentric inversion :

وهو الذى تشتمل فيه القطعة المنقلبة على منقطة السنترومير .

٢- انقلاب لاسنتروميرى paracentric inversion :

وهو الذى لاتشتمل فيه القطعة المنقلبة على منطقة السنترومير .

قد يكون الفرد أصيلا أو خليطاً للانقلاب ، وقد يحدث انقلاب مركب ؛ فتنقلب قطعة داخل الانقلاب الأول .

يؤدى الانقلاب الخليط - عادة - إلى إحداث عقم بنسبة ٥٠٪ فى كل من الجاميطات المذكرة والمؤنثة ؛ ويرجع ذلك إلى تكوين كروماتيدات ، تحتوى على إضافة أو نقص . كما يؤدى الانقلاب إلى تغيير العلاقة الارتباطية بين الجينات الموجودة على نفس الكروموسوم ؛ كذلك .. يحدث الانقلاب نقصاً كبيراً فى نسبة العبور المقدرة عن طريق التراكيب العبورية ؛ ويرجع ذلك إلى قلة الحصول على هذه التراكيب فى الجاميطات المتحصل عليها ؛ إذ إن الكروماتيدات المتحصل عليها تكون دائماً غير عبورية ؛ أى يؤدى الانقلاب إلى نقص كبير فى العبور الوراثى ، دون أن يكون له بالضرورة ، أى تأثير فى العبور الستيولوجى ، ويتبين من ذلك أهم تأثير للانقلاب الخليط ، ألا وهو تقليل التراكيب العبورية أو منعها كلية . كما يحدث الانقلاب الخليط درجة من التعارض interferance ؛ نظراً لأنه يؤدى إلى تقليل العبور خارج المنطقة التى حدث فيها الانقلاب ، ويستفاد من حالات الانقلاب الكروموسومى فى دراسة سلوك الكروموسومات ، وموقع الجينات على الكروموسات بالنسبة لكل من الصفات النوعية والكمية (عن طنطاوى وحامد ١٩٦٣ ، Fehr ١٩٨٧) . ولمزيد من التفاصيل .. يراجع Elliott (١٩٥٨) ، و Swanson وآخرون (١٩٦٧) .

ويبين شكل (١٣-١) كيفية حدوث التحورات الكروموسومية السابقة ، ومظهر الكروموسومات فى الدور التزاوجى من الدور التمهيدى الأول للانقسام الاختزالى (عن Birkett ١٩٧٩) .

الطفرات الطبيعية

يتراوح معدل حدوث الطفرات الطبيعية Naturally Occurring Mutations فى النباتات من ٠٠١و٪ إلى ٠٠٠١و٪ من الجاميطات ، ويتوقف ذلك على النوع المحصولى والصفة ذاتها ، وتوجد حالات يكون معدل حدوث الطفرات فيها أقل ، أو أكثر من ذلك ، ويبين جدول (١٣ - ١) معدلات حدوث الطفرات الطبيعية فى بعض الجينات التى تتحكم

فى صفات الحبة فى الذرة . ويتبين من الجدول أن نسبة الطفرات المشاهدة تتراوح من أقل من واحد إلى ٤٩٢ طفرة فى كل مليون جاميطة .

جدول (١٢-١) : معدل حدوث الطفرات الطبيعية فى بعض الجينات التى تتحكم فى صفات الحبة فى الذرة .

الجين وتأثيره المظهرى	عدد الجاميطات المختبرة	عدد الطفرات المشاهدة	نسبة الطفرات لكل مليون جاميطة
R عامل يتحكم فى لون الحبة	٥٥٤٧٨٦	٢٧٣	٤٩٢
I عامل يمنع تكوين اللون	٢٦٥٣٩١	٢٨	١٠٦
P_2 لون الحبة القرمزى	٦٤٧١٠٢	٧	١١
S_u الاندوسبرم السكرى	١٦٧٨٧٣٦	٤	٢,٤
Y اللون الأصفر	١٧٤٥٢٨٠	٤	٢,٢
Sh الإندوسبرم المنكمش	٢٢٤٩٢٨٥	٣	١,٢
Wx الإندوسبرم الشمعى	١٥٠٢٧٤٤	صفر	صفر

وقد تنشأ الطفرات فى الأنسجة الجسمية Somatic Tissues ، ويطلق عليها اسم طفرات برعمية Bud Sports أو Sport Mutations . وهى قد تكون شاملة لكل أنسجة الفرخ النامى من البرعم ، أو توجد فى بعض أنسجته فقط ، بينما تبقى بقية الأنسجة على حالتها الأصيلة ، وتعرف الطفرة فى هذه الحالة باسم كيميرا Chimera .

الطفرات البرعمية والكيميرا

قد تشمل الطفرة البرعمية كل نسيج الفرخ النامى إذا حدثت فى مرحلة مبكرة من نمو البرعم ، ويؤدى ذلك إلى احتواء كل خلايا البرعم أو معظمها على هذه الطفرة ؛ فتظهر - بالتالى - فى جميع خلايا الفرخ الذى ينمو منه . ورغم انخفاض نسبة حدوث هذه النوعية من الطفرات .. إلا أنه يمكن الاستفادة منها بسهولة ؛ فالثمار التى تنتج على الفرخ المطفر تحتوى بذورها على العامل أو العوامل الوراثية المسئولة عن الطفرة ؛ وهو ما

يعنى إمكان إكثارها جنسياً . كما يمكن باتباع طريقة التكاثر الخضرى المناسبة إنتاج سلالة خضرية جديدة من الفرخ المطفر ، يمكن أن تصبح صنفاً جديداً إذا كانت الطفرة جيدة ومرغوبة .

أما الكيميرا فإنها تظهر عندما تحدث الطفرة الجسمية فى مرحلة متأخرة من تكوين البرعم ؛ مما يؤدى إلى ظهورها فى بعض خلاياه فقط ، ويؤدى نمو هذا البرعم إلى تكوين فرخ يحتوى على الطفرة فى بعض أنسجته ، بينما تكون الأنسجة الأخرى على حالتها الأصلية . وكلما تأخر وقت حدوث الطفرة أثناء تكون البرعم .. قلت نسبة النسيج الذى يحتوى على الطفرة فى الفرع المتكون من هذا البرعم . كما قد تظهر الكيميرا فى عضو نباتى واحد ، مثل الورقة أو الثمرة ؛ فتبدو الورقة مبرقشة ، أو تحتوى الثمرة على جزء مطفر وجزء عادى ؛ كأن تحتوى ثمرة التفاح – مثلاً – على جزء حامضى وجزء حلو ، أو تحتوى ثمرة الخوخ على جزء زغبى وجزء أملس . ولايشترط لظهور الكيميراً أن تحدث الطفرة فى البرعم الإبطى الذى يعطى – عند نموه – فرخاً يحتوى على الطفرة فى بعض أنسجته ، بل إن الطفرة قد تحدث – كذلك – فى القمم النامية (البراعم القمية) للسيقان، مما يؤدى إلى ظهور الكيميرا فجأة فى الساق بعد فترة من النمو الطبيعى . ولا تكون معظم أنواع الكيميرا ثابتة عند إكثارها . هذا .. وتظهر حالات الطفرات التى سبق ذكرها – تلقائيًا – فى الطبيعة ، كما يمكن إحداثها صناعياً ، بمعاملة الأجزاء الخضرية للنبات بالعوامل المطفرة .

كيفية ظهور الكيميرا

تحتوى قمم أفرخ النباتات ذوات الفلقتين من مغطاة البذور على ثلاث طبقات (توجد طبقتان فقط فى معراة البذور وذوات الفلقة الواحدة) تعرف معاً باسم تونيكا Tunica ، تعلو كتلة من خلايا أقل تنظيماً ، تعرف باسم كوربس Corpus ، والطبقات الثلاث هى:

١– الطبقة الخارجية (تعطى الرمز L-I) :

تنقسم خلايا الطبقة الخارجية – محيطياً – بصفة أساسية ، وبذا .. تكون هى المسئولة عن تكوين طبقة البشرة ، بينما لاتسهم فى تكوين أنسجة أخرى تحت البشرة إلا فى حالات نادرة . وتنقسم خلايا هذه الطبقة قطرياً .

٢- الطبقة الوسطى (تعطى الرمز L - II) :

تنقسم خلايا الطبقة الوسطى - محيطياً - أثناء تكوين مبادئ الأعضاء النباتية ، كما تنقسم - قطرياً - عند تكوين مبادئ الأوراق ؛ وعليه .. فإن هذه الطبقة تعد مسئولة عن تكوين النسيج الوسطى (الميزوفيل) فى الأوراق ، والطبقات الخارجية من القشرة ، وبعض أجزاء الأسطوانة الوعائية ، كما تنشأ منها الخلايا الجنسية (حبوب اللقاح والبويضات).

٣- الطبقة الداخلية (تعطى الرمز L - III) :

تنقسم خلايا الطبقة الداخلية - قطرياً - بشكل أساسى ، وتكون هى المسئولة عن الزيادة فى حجم مبادئ الأعضاء النباتية . تحتفظ الخلية الخارجية - بعد كل انقسام لخلايا هذه الطبقة - بطبيعتها الميرستيمية ، بينما تصبح الخلية الداخلية جزءاً من النسيج الداخلى للعضو النباتى ، ولذا .. تعد هذه الطبقة مسئولة عن تكوين جميع الأنسجة الداخلية فى السيقان والأوراق ، بما فى ذلك الطبقات الداخلية من القشرة والأسطوانية الوعائية والنخاع .

أنواع الكيميرا

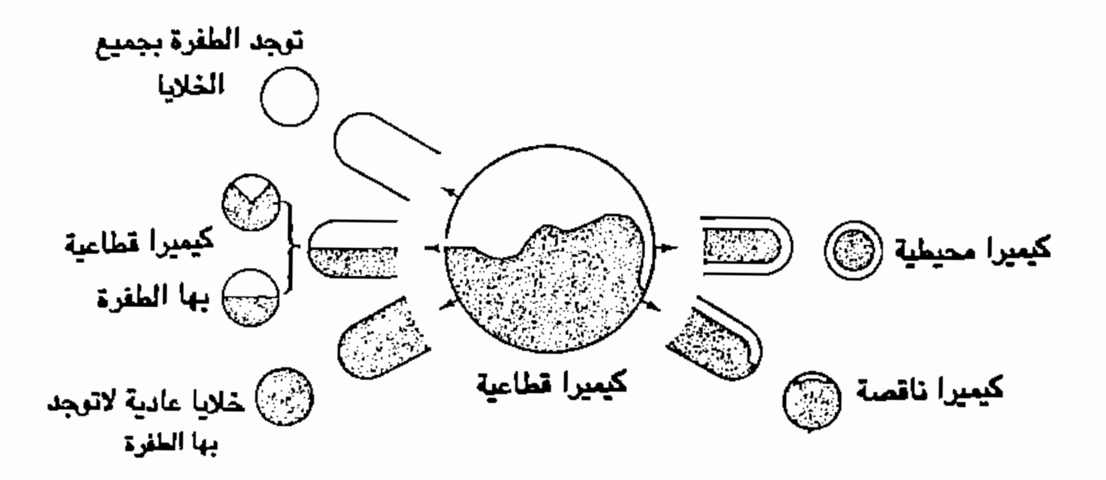
توجد ثلاثة انواع من الكيميرا ، تظهر عند عمل قطاع فى العضو النباتى المحتوى على الطفرة ، وهى :

١- الكيميرا القطاعية (أو المخروطية) Sectorial chimera :

يحتوى العضو النباتى الذى تظهر به الكيميرا القطاعية على نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى ، يكون أحدهما على شكل مخروط ، ويمتد هذا المخروط - غالباً - من البشرة إلى منتصف العضو النباتى ، سواء أكان ورقة ، أم ساقا ، أم جذراً . وتختلف النموات التى تنتج من هذا النوع من الكيميرا تبعاً للنسيج الذى تنشأ منه . وقد تظهر مختلف أنواع الكيميرا بهذه النموات كما هو مبين فى شكل (١٢ - ٣) .

٢- الكيميرا المحيطية Periclinial Chimera :

يحتوى العضو النباتى الذى تظهر به الكيميرا المحيطية على نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى ، يحيط أحدهما بالآخر إحاطة تامة. ويتكون النسيج الخارجى - عادة -



شكل (١٣ – ٣) : تخطيط لقطاع عرضي (الدائرة الوسطى) في ساق توجد بها كيميرا مقطعية . يمثل الجز ء الأبيض النسيج الذى توجد فيه الطفرة ، بينما يمثل الجزء المظلل النسيج الأصلى للنبات . يبين الشكل أنواع الكيميرا التى يمكن أن تظهر بالفروع ، التى تنمو من براعم ، تتكون فى مواضع مختلفة من الساق الأصلية ، وتبين الدوائر الجانبية شكل القطاعات العرضية لهذه الفروع وهى التى تظهر بها مختلف أنواع الكيميرا (عن Hartmann & Kester ١٩٨٣) .

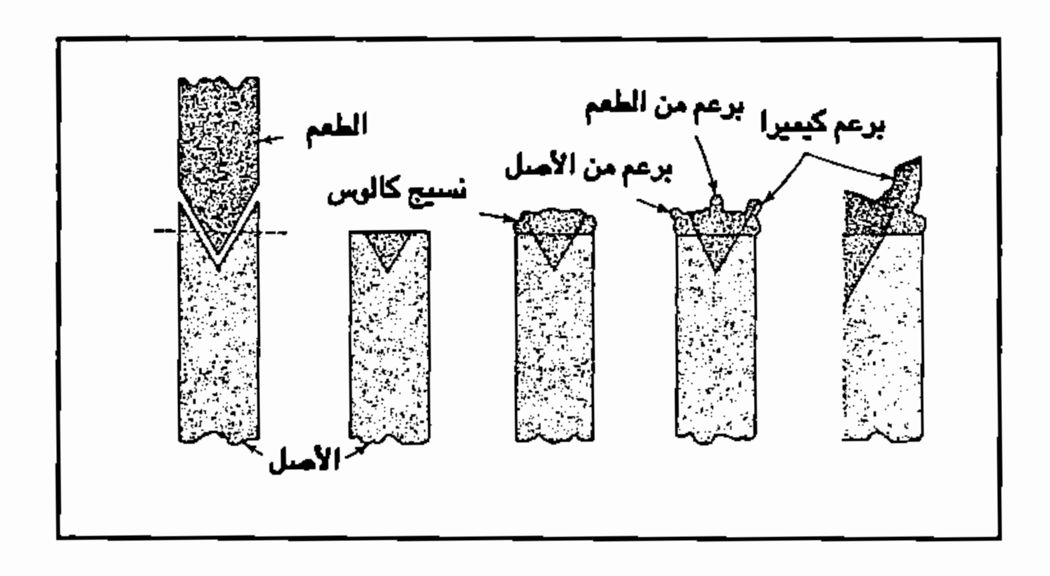
من طبقة واحدة إلى عدة طبقات من الخلايا . وغالبا ما تكون الطبقة الخارجية هى التى تحتوى على النسيج المطفر ، إلاّ أن الطفرة قد تكون فى النسيج الداخلي فى أحيان قليلة.

٣- الكيميرا الناقصة Mericlinal Chimera :

تتشابه الكيميرا الناقصة مع الكيميرا المحيطية فى وجود نسيجين مختلفين فى تركيبهما الوراثى ، يحيط أحدهما بالآخر ، ولكن الإحاطة فى حالة الكيميرا الناقصة تكون فى جزء صغير فقط من النسيج الخارجى للعضو الذى تظهر به الطفرة . ويعنى ذلك أن الطفرة تكون قد حدثت أصلاً فى إحدى الخلايا المسئولة عن تكوين جزء من نسيج البشرة . وتعتبر تلك هى أكثر أنواع الكيميرا – شيوعاً – فى الطبيعة .

ويتوقف تطور الكيميرا على النبات على موقع البراعم العرضية التى تعطى النموات الجديدة بالنسبة للنسيجين المطفر والعادى . ويبدو ذلك جلياً فى شكل (١٣ – ٣) .

وتجدر الإشارة إلى أن كيميرا التطعيم Graft Chimera تتشابه مع كيميرا الطفرات في المظهر العام ، وفي إمكان ظهور الأنواع الثلاثة من الكيميرا في أي منهما . وتحدث كيميرا التطعيم حينما ينشأ برعم من منطقة التحام الأصل بالطعم . وتتكون مثل هذه البراعم بصورة طبيعية – أحيانا – إلاَّ أنه يمكن دفعها للظهور بقطع الطعم حتى منطقة الالتحام في النباتات الصغيرة المطعمة . ويتكون –حينئذ نسيج كالوس Callus Tissue على السطح المقطوع ، تتكون فيه براعم عرضية ، يكون بعضها من نسيج الأصل فقط ، وبعضها من نسيج الطعم فقط ، إلا أن بعضها يتكون من نسيجي الأصل والطعم معًا ، وهي التي تعطي فروعاً تظهر فيها الكيميرا (شكل ١٣ – ٤) .



شكل (١٣ – ٤) : كيفية ظهور كيميرا التطعيم .

طرق إكثار الكيميرا

سبق أن أوضحنا أن القمة النامية في البرعم تحتوي على ثلاث طبقات من الخلايا ، وأن الطبقة الخارجية تنتج نسيج البشرة ، بينما تنتج الطبقة الوسطى النسيج التمثيلي في الورقة والأنسجة التناسلية في كل من الطلع والمتاع ، وتنتج الطبقة الثالثة الأنسجة

الداخلية ، وعليه .. فإن ظهور الطفرة فى كل خلايا الطبقة الخارجية يعنى ظهورها فى طبقة البشرة فقط ، ومثل هذه الطفرات لاتنتقل إلى الأنسجة التناسلية ، ولايمكن إكثارها بالبذور؛ ولكن يمكن المحافظة عليها بالإكثار الخضرى بواسطة العقل الساقية ، أو بالترقيد القمى ، وتجدر الاشارة إلى أنه لايمكن المحافظة على هذا النوع من الطفرات بالعقل الجذرية ؛ لأن النموات الجديدة التى تتكون من العقل الجذرية تنشأ من الأنسجة الداخلية التى لاتحتوى على الطفرة .

أما إذا ظهرت الطفرة فى خلايا الطبقتين الخارجية والوسطى .. فإنها تظهر بعد ذلك فى كل من خلايا البشرة وخلايا النسيج التناسلى ، ويمكن - بالتالى - إكثار هذه النوعية من الطفرات - خضرياً بالعقل الساقية ، وجنسياً بالبذور - ولكنها -كسابقتها- لايمكن إكثارها بالعقل الجذرية .

وإذا ظهرت الطفرة فى خلايا الطبقة الداخلية فقط .. فإنها لاتوجد بعد ذلك إلاّ فى الأنسجة الداخلية ، ولايمكن إكثار هذا النوع بالعقل الساقية ، أو بالبذور ، ولكنه يكثر بالعقل الجذرية التى تنشأ فيها براعم عرضية من الأنسجة الداخلية . وتعطى هذه البراعم نموات تحتوى كل خلاياها على الطفرة ، بما فى ذلك البذور التى تتكون عليها . كذلك .. يمكن إكثار الطفرات الداخلية بالعقل الساقية بعد إزالة براعمها ؛ حتى تتكون بها براعم عرضية بديلة من أنسجتها الدخلية المحتوية على الطفرة .

وجدير بالذكر .. أن جميع خلايا النبات تحتوى على نفس الجينات ، إلاّ أن الجين لايظهر تأثيره إلا فى عضو نباتى معين ؛ فقد تحدث - مثلاً - طفرة خاصة بلون مختلف لبتلات الأزهار فى خلايا الطبقة الداخلية ،إلاّ أنها لاتظهر على النبات ، لأن بتلات الأزهار لاتتكون من خلايا الطبقة الداخلية ، ولايمكن ظهور هذه الطفرة إلا إذا أكثر النبات الحامل لها بالعقل الجذرية ، حيث تنشأ النموات الجديدة من الأنسجة الداخلية .

وتحتوى بعض أصناف البطاطس على كيميرا محيطية غير ظاهرة ، ويمكن التحقق من ذلك بإزالة العيون من الدرنات لدفعها إلى تكوين عيون عرضية جديدة من الأنسجة الداخلية ؛ - فمثلاً - تؤدى إزالة العيون من درنات الصنف نورتون بيوتى Norton Beauty ذى الدرنات المبرقشة إلى تكوين نموات ، تعطى درنات ذات جلد أحمر مماثلة

لدرنات الصنف ترايمف Triumph ؛ وكذلك تؤدى إزالة عيون من درنات الصنف جولدن وندر Colden Wonder ذى الدرنات البنية والجلد السميك الخشن إلى تكوين نموات ، تعطى درنات ذات جلد رقيق أبيض وناعم ، مماثلة لدرنات الصنف لانج ورثى Langworthy .

وجدير بالذكر .. أن حالات التبرقش Variegation – التى تشاهد فى أوراق عديد من النباتات – تعد كيميرا أيضاً ، وهى تظهر عند حدوث طفرات فى الجينات السيتوبلازمية Plasmagenes (وهى التى تتحكم فى الصفات التى تورث عن طريق الأمهات) ، المسئولة عن محتوى الخلايا من البلاستيدات الخضراء ؛ فيقل محتوى الكلورفيل – بالتالى – فى الخلية التى تحدث فيها الطفرة ، وفى جميع الخلايا التى تنشأ منها (Hartmann & Kester ۱۹۸۳ ، Vaughn ۱۹۸۳) .

أمثلة للطفرات الطبيعية فى المحاصيل الزراعية

يبين جدول (۱۳ – ۲) قائمة ببعض الأصناف المهمة التى ظهرت كطفرات طبيعية وانتخبت منها ، لتصبح أصنافاً جديدة (عن Elliott ۱۹٥۸ ، و Edmond وآخرين ۱۹۷٥ ، و Welsh ۱۹۸۱) .

الطفرات المستحدثة

إن الطفرات المستحدثة Induced Mutations هى التى يتم إنتاجها صناعياً عن طريق المعاملة بواسطة العوامل المطفرة Mutagenic Agents . وكانت أولى محاولات استحداث الطفرات فى عام ۱۹۲۷ حينما نشر Muller أن معدل الطفرات يمكن زيادته فى حشرة الدروسفيلا لدى معاملتها بأشعة إكس X - rays ، ثم حصل Stadler على نتائج مماثلة على نبات الشعير فى العام التالى ، وقد أعقب ذلك محاولات كثيرة جادة لاستحداث الطفرات فى المحاصيل الزراعية بغرض تحسينها ، ويستخدم لذلك نوعان رئيسيان من العوامل المطفرة Mutagenic Agents هما : الأشعة ، والمركبات الكيمائية .

أهمية استحداث الطفرات

إن الفائدة الرئيسية التى ترجى من محاولات استحداث الطفرات صناعياً هى

جدول (١٣-٢) : قائمة ببعض الأصناف الهامة التي نشأت كطفرات طبيعية ، ثم أكثرت لتصبح أصنافًا جديدة .

المحصول	الصنف الأصلي	الصنف المنتخب كطفرة	الصفات المميزة للطفرة
التفاح	Delicious	Starking	ثمرة جذابة اللون
	Northern Spy	Graham	
		عدة أصناف	النمو المندمج المتقزم
الخوخ	Halehaven	Early Halehaven	التبكير في النضج
البرتقال		Washington Navel	خلو الثمرة من البذور
	Washington Navel	Robertson Navel	اللب الجذاب
الجريب فروت		Thompson	اللب الوردي اللون
	Thompson	Thompson Seedless	خلو الثمرة من البذور
	Thompson Seedless	Texas Seedless	اللب الجذاب
	Emperor	Seedless Emperor	خلو الثمرة من البذور
العنب		Thompson Seedless	خلو الثمرة من البذور
البطاطا	Little Stem Jersey	Orils	ارتفاع محتوى الكاروتين
	Nancy Hall	Red Nancy	ارتفاع محتوى الكاروتين
	Centennial	Rose Centennial	الجلد ذو لون وردي فاتح
البطاطس	De Sota	Red Desota	الجلد ذو لون أحمر جذاب
	Burbank	Russet Burbank	الجلد ذو ملمس خشن جذاب
	Early Rose	Clobber	
	Triumph	Red Triumph	الجلد ذو لون أحمر
	Warba	Red Warba	الجلد ذو لون أحمر
	Sebago	Russet Sebago	الجلد ذو ملمس خشن مرغوب
	Pontiac	Red Pontiac	الجلد ذو لون أحمر
الورد	Briarcliff	Better Times	بتلات الزهرة ذات لون أحمر قاتم

الحصول على اختلافات وراثية جديدة ، يمكن استخدامها فى برامج التربية لإنتاج أصناف جديدة محسنة ، إلا أن فريقا من العلماء يرون أن الطفرات الطبيعية تحدث بصفه دائمة ، وأنها حدثت مرات عديدة خلال آلاف السنين التى زرعت فيها محاصلينا الزراعية ، وأن الطبيعة والانسان قد قاما - دائما - بانتخاب أفضلها وأكثرها تأقلماً مع الظروف البيئية ؛ أى إن كل الطفرات التى نحاول استحداثها لابد أن تكون موجودة بالفعل فى الجيرمبلازم المتوفر لدينا ، ولا يتطلب الأمر أكثر من تقييم هذا الجيرمبلازم ، للبحث عن الصفات المرغوبة . ومما يؤيد هذا الاعتقاد .. أن الغالبية العظمى من الطفرات المستحدثة تكون لصفات غير مرغوبة ؛ حيث تزيد كثيراً نسبة الطفرات غير المرغوبة (الضارة) إلى الطفرات المرغوبة (المفيدة) - لدى استعمال أشعة إكس - عن ٨٠٠ : ١ .

وتجدر الإشارة إلى أنه لايمكن توجيه العوامل المطفرة نحو جين معين لتغييره وإنتاج أليل جديد منه ، وإنما تحدث الطفرات بصورة عشوائية ، ويكون للظروف السابقة للمعاملة تأثير بالغ فى مدى الاستجابة لها . ومن أهم العوامل المؤثرة التغذية المعدنية للنبات ، والتضاعف Polyploidy . هذا .. ولاتجب التربية باستحداث الطفرات إلاّ بعد أن يعجز المربى عن تحسين المحصول بالطرق الأخرى .

مدى ملاءمة التربية بالطفرات لمختلف المجاميع المحصولية

تعد النباتات الذاتية التلقيح أكثر المجاميع المحصولية ملاءمة للتربية بالطفرات ؛ لأن الطفرات المتنحية تنعزل فيها بحالة أصيلة فى الجيل التالى ، دونما حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتى يدوياً ، بالإضافة إلى أنها متجانسة ولايجدى معها الانتخاب إلاّ بعد استحداث الاختلافات الوراثية فيها ؛ كما يمكن التعرف على الطفرات التى تظهر فيها بسهولة ؛ لأنها صادقة التربية .

كما تناسب التربية بالطفرات النباتات الخضرية التكاثر ؛ لأن النباتات التى تظهر بها طفرات مرغوبة يمكن إكثارها خضرياً ؛ لتصبح صنفاً جديداً . وتجدر الإشارة إلى أن التربية بالطفرات فى المحاصيل الخضرية التكاثر تعادل فى تأثيرها التربية بطريقة التهجين الرجعى فى المحاصيل الجنسية التكاثر ؛ ذلك لأن الإكثار الخضرى للطفرة يجعل منها صنفاً جديداً مشابهاً تماما للصنف الأصلى (الذى عومل بالعوامل المطفرة) ، فيما عدا الصفة المرغوبة وهى الطفرة .

كذلك .. تتبع التربية بالطفرات فى تحسين نباتات الزينة ، إذ إن التشوهات التى قد تحدثها المعاملة بالعوامل المطفرة قد تكون – فى حد ذاتها – صفات مرغوبة فى هذه النباتات .

أما المحاصيل الخلطية التلقيح .. فلا تناسبها التربية بطريقة الطفرات ، لما تتطلبه من جهد كبير لتلقيح أعداد كبيرة منها ذاتيًا ؛ لعزل الطفرات المتنحية بحالة أصيلة ، كما تكثر بها الاختلافات الوراثية بطبيعتها . وبالرغم من ذلك .. فقد أمكن الوصول إلى نتائج مرضية مع هذه النباتات عند زراعتها متجمعة in bulk .

وتجدر الإشارة إلى أنه يكون من الأسهل اكتشاف الطفرات فى الصفات النوعية البسيطة عما فى الصفات الكمية التى يتحكم فيها عدد كبير من العوامل الوراثية .

هذا .. وتختلف الحساسية للعوامل المطفرة باختلاف الأنوا ع النباتية . وقد بيّن كثيرون أن النباتات ذات الكروموسومات الكبيرة أكثر حساسية من النباتات ذات الكروموسومات الصغيرة ، بينما تقل الحساسية فى النباتات المتضاعفة عما فى أصولها الثنائية ، وفى الهجين عما فى أبائها ، وتزيد معدلات استحداث الطفرات فى العشائر القليلة التجانس عما فى السلالات النقية .

تأثير العوامل المحدثة للطفرات

يكون للعوامل المحدثة للطفرات تأثيرات فسيولوجية ، وأخرى وراثية على النباتات المعاملة .

١ - التأثير الفسيولوجى

تُحدث معظم العوامل المطفرة تأثيرات فسيولوجية فى النباتات المعاملة ، تظهر على شكل زيادة فى قوة النمو النباتى فى الجيل المعامل ، فتؤدى معاملة البذور إلى زيادة فى قوة نمو البادرات التى تنمو منها ، وتؤدى معاملة الأجزاء الخضرية المستخدمة فى التكاثر إلى زيادة فى قوة نمو النباتات التى تنتج منها ، مع زيادة فى سمك الأوراق أو ظهور تعريق غير عادى بها . ويختفى هذا التأثير الفسيولوجى فى مرحلة متأخرة من حياة النبات ، ولايظهر فى الجيل التالى ، سواء أكان التكاثر جنسياً ، أم خضريًا . ولايمكن

التمييز بين التأثير الفسيولوجي للعوامل المطفرة ، والطفرات الحقيقية إلاّ فى الجيل الثانى بعد المعاملة .

٢- التأثير الوراثى :

تحدث المعاملة بالعوامل المطفرة تأثيرات وراثية تكون على شكل طفرات عاملية ، أو تحورات كروموسومية أو كليهما معاً . وتكون معظم الطفرات ضارة ، وغالبيتها متنحية ، خاصة فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ، بينما تكثر الطفرات السائدة سيادة تامة أو جزئية فى النباتات المتضاعفة ، ويدل عديد من الدراسات على أن كثيراً من الطفرات التى يحدثها الإشعاع تكون على صورة نقص فى جزء صغير من الكروموسوم ، إلاّ أنه حدث ارتداد للحالة الأصلية فى بعض الطفرات ؛ مما يدل على عدم صحة الرأى القائل بالنقص الكروموسومى ، وإذا حدثت الطفرات نتيجة للنقص الكروموسومى .. فإنها تكون غير ذات قيمة فى تحسين المحصول . ويكون لبعض الطفرات تأثير متعدد Pleiotropic ، ويكون بعضها مرتبطاً بطفرات أخرى ، كما يمكن أن تحدث الطفرات فى الصفات الكمية ؛ ومن أمثلة ذلك أنه أمكن الحصول على سلالات من الفول السودانى - بعد معاملته بالإشعاع - كانت أعلى محصولا من الصنف الأصلى . أما التحورات الكروموسومية .. فإنها تكون ذات تأثير سلبى غالباً ، إلاّ أنها تسمح للمربى بتغيير تركيب الكروموسومات بالطريقة التى يراها مفيدة لتحقيق أهداف برنامج التربية .

كيفية حدوث الطفرات

يحدث التأثير المطفر للمعاملة بالعوامل المطفرة بإحدى طريقتين أو بكلتيهما ، كما يلى :

١- التأين Ionization :

يحدث التأين حينما تتصادم الأشعة ذات الموجات الضوئية القصيرة جداً مع الذرات التى يتكون منها النسيج النباتى المعامل ؛ حيث يؤدى هذا التصادم إلى إطلاق أليكترونات من هذه الذرات مخلفة وراءها أيونات . وتتصادم الأليكترونات المنطلقة بدورها ، مع ذرات وجزئيات أخرى ؛ لتخلف وراءها مزيداً من الأيونات ، وينطلق منها مزيد من الأليكترونات ؛

وبذا .. تتجمع الاليكترونات فى مسار الأشعة ، وتكون الذرات المتأينة أكثر قابلية للتفاعلات الكيمائية ، وإذا حدث ذلك فى الذرات التى يتكون منها جزئ الحامض النووى DNA .. فإنه يؤدى إلى ظهور الطفرات .

وتختلف الطريقة التى يحدث بها التأين باختلاف الأشعة المؤينة ؛ فتحدث الأشعة الجزيئية Particulate radiation تأثيرها عندما يمر جزئ سريع ذو شحنة موجبة فى المادة ؛ حيث يقوم بجذب اليكترون من مداد إحدى الذرات ؛ فتصبح تلك الذرة أيوناً موجباً . أما الأيون المنطلق منها .. فإنه يتصل بذرة أخرى ، فتصبح بذلك أيوناً سالباً . أما النيترونات السريعة الحركة .. فإنها تتصادم مع نواة الذرة ؛ مما يودى إلى إثارتها ، وانطلاق الجزيئات الموجبة الشحنة منها ، وهو ما يؤدى إلى مزيد من التأين بإزالة الأليكترونات من المدار الخارجى لذرات أخرى ... وهكذا . أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تحدث التأين بطريقة ثانوية ؛ حيث تؤدى الطاقة التى يكتسبها الوسط من هذه الموجات إلى إحداث حالة من عدم الثبات ، يتبعها فقدان أليكرونات من المدارات الخارجية للذرات ، تحدث بدورها مزيداً من التأين .

٢- الإثارة Exitation :

تحدث الإثارة عند المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية ؛ حيث تمتصها البيورينات purines والبيرميدنات pyrimidines التى توجد فى الحامض النووى DNA ، وتؤدى الأشعة إلى رفع أليكترونات الذرات التى تكون فى طريقها إلى مدارات أعلى يكون مستوى الطاقة فيها أكبر وتكون هذه الذرات المثارة أكثر قابلية للتفاعلات الكيميائية ، وهو ما يزيد من فرصة حدوث الطفرات (Gardner & Sunstad ١٩٨٤) .

الأشعة المحدثة للطفرات

يعد الإشعاع Radiation من أهم العوامل المطفرة ؛ حيث تُحدث الأشعة فوق البنفسجية وجميع أنواع الأشعة ذات الموجات الضوئية الأقصر منها طفرات فى الكائنات الحية التى تتعرض لها .

تقسيم الأشعة حسب طريقة تاثيرها

تقسم الأشعة حسب طريقة تأثيرها إلى مجموعتين هما :

١- الأشعة غير المؤينة Non - ionizing Radiations ؛ ومن أمثلها الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays .

٢- الأشعة المؤينة Ionizing Radiations ؛ ومن أمثلتها : أشعة ألفا alpha rays وأشعة بيتا beta rays ، وأشعة إكس X-rays ، وأشعة جاما gamma rays ، والنيترونات neutrones .

تعتبر النظائر المشعة Isotopes من أهم مصادر الأشعة المؤينة ؛ إذ إنها تنتج طاقة فى صورة جزيئات particles ، أو موجات waves ، وكلاهما يعد إشعاعاً radiation . تكون الجزيئات المنطلقة من العناصر المشعة ذات طاقة عالية ، ويمكنها أن تنقل طاقتها الكامنة هذه إلى أى وسط تمر فيه ، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الجزيئية Particulate or corpuscular radiations . أما الموجات التى تنطلق من العناصر المشعة .. فإنها تكون قصيرة جدا ، وذات طاقة عالية أيضاً ، وتحدث اضطرابات كهربائية ومغناطيسية فى تركيب الوسط الذى تمر فيه ، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic raditions .

وتشتمل الأشعة الجزيئية Corpuscular Radiations على كل من النيترونات البطيئة slow neutrons ، وجزئيات ألفا ، وبيتا . أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تتضمن كلا من أشعة × ، وأشعة جاما .

وحدات قياس الأشعة المؤينة

تستخدم الوحدات التالية فى قياس جرعات الأشعة المؤينة :

١- الرونتجن Rontgen (r) : تقاس به جرعات أشعة إكس ، وأشعة جاما خاصة فى الهواء .

٢- مكافئ الرونتجن الفيزيائى Rontgen Equivalent Physical (rep) : تقاس به الأشعة الجزيئية particulate irradiation ، خاصة فى الأنسجة الطرية soft tissues

فى الدراسات البيولوجية .

٣- جرعة الإشعاع الممتصة Radiation Absorbed Dose (راد rad) : تقاس بها كل أنواع الأشعة فى الدراسات البيولوجية والفيزيائية ، وتعتبر (الراد) وحدة امتصاص ، وهى أكثر الوحدات استعمالاً .

أنواع الأشعة

فيما يلى بيان بأهم أنواع الأشعة المستخدمة فى استحداث الطفرات :

١- الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation :

تولّد الأشعة فوق البنفسجية بواسطة لمبات بخار الزئبق ، وتتراوح أطوال موجاتها من ١٠٠ - ٤٠٠ مللى ميكرون ، ولكن أكثر موجاتها تأثيراً هى التى تكون بطول ٢٥٤ مللى ميكروناً ؛ لأنها أكثرها امتصاصاً بواسطة البيورينات والبيرميدنات التى يتكون منها الحامض النووى D N A . وتُحدث الأشعة فوق البنفسجية تأثيرها بواسطة الإثارة التى تسرع من التفاعلات الكيمائية فى الأنسجة التى تتعرض لها . وهى لاتعتبر من الأشعة المؤينة باستثناء مايكون منها فى مدى الموجات القصيرة جداً . وتكون أغلب الطفرات التى تحدثها الأشعة فوق البنفسجية من النوع العاملى ، وإذا أحدثت الأشعة كسوراً كروموسومية .. فإنها تكون طرفية عادة ، وغالبا ما يلتحم الجزء المكسور فى مكانه الأصلى ، أو يفقد بما يحمله من جينات .

ويُعاب على الأشعة فوق البنفسجية أنها لاتتعمق كثيرا فى الأنسجة المعاملة ، وهو ما يحد من استعمالها ، ويقتصر استعمالها - غالبا - على معاملة حبوب اللقاح .

٢- أشعة ألفا Alpha Rays :

يحصل على أشعة ألفا من النظائر المشعة مثل الفوسفور ٣٢ ؛ و الكربون ١٤ وهى أشعة جزيئية Particlate ، وهى عبارة عن أنوية الهليوم ؛ إذ تتكون من جزيئات ، يحتوى كل منها على عدد (٢) بروتون ، و(٢) نيترون ، وتكون - بالتالى - ذات شحنة موجبة . وهى خطرة جداً إذا وصلت إلى جسم الإنسان ، ولكن يمكن الحماية منها بورقة رقيقة ، ولايتعدى اختراق هذه الأشعة للأنسجة النباتية أكثر من جزء صغير من المليمتر ؛ ذلك

لأنها تحمل شحنة موجبة ؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات السالبة التى توجد فى المادة . تحدث أشعة ألفا تأينا شديدا ، وتتسبب فى حدوث تحورات كروموسومية غالباً .

٣- أشعة بيتا Beta Rays :

يحصل على أشعة بيتا (أو أشعة الكاثود) من النظائر المشعة مثل الفوسفور المشع (^{32}P) ، والكبريت المشع (^{35}S) ، وهى أشعة جزيئية ، عبارة عن أليكترونات سريعة الحركة تقذفها أنوية الذرات غير الثابتة للعناصر المشعة . وقد تكون هذه الأشعة خطرة على الإنسان ، ويمكن الحماية من أخطارها بلوح سميك من الكارتون . وتخترق أشعة بيتا الأنسجة النباتية لمسافة عدة ملليمترات فقط ، لأنها تحمل شحنات سالبة ؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات الموجبة التى توجد فى المادة . وتحدث أشعة بيتا تأثيرها بطريق التأين ، ولكن بدرجة أقل من أشعة ألفا ، وتتسبب فى حدوث طفرات عاملية وتحورات كروسومية . وتعامل بأشعة بيتا كل من البذور والبادرات ، ولكن يغلب استعمالها فى معاملة البذور . وتغمر الأجزاء النباتية التى يُراد معاملتها مدة مناسبة فى تركيز مناسب من محلول مائى لأحد المركبات التى يدخل العنصر المشع فى تكوينها ، وقد يضاف المحلول للتربة التى تنمو فيها النباتات فى بعض الحالات .

٤- أشعة جاما Gamma Rays :

يُحصل على أشعة جاما من النظائر المشعة فى المفاعلات النووية ؛ حيث تنطلق من العنصر المشع كوبالت ٦٠ ^{60}Co، أو سيزيوم ١٣٧ ^{137}Cs، وهى أشعة كهرومغناطيسية ، تشبه الضوء العادى ، إلاّ أن طاقتها عالية ، وموجاتها أقصر بكثير ، وتعتبر بمثابة أشعة إكس طبيعية ، إلاّ أن موجاتها أقصر منها كثيراً أيضاً ، ولها قدرة أكبر على اختراق الأنسجة . وبينما تتراوح أطوال موجات الضوء العادى من ٤٠٠ - ٧٠٠ مللى ميكرون ، ويصل طول موجة أشعة إكس إلى ٥٠و٠ مللى ميكروناً . فإن معظم أشعة جاما تقل أطوال موجاتها عن ٠,٠٠١ مللى ميكروناً ، وتعد أشعة جاما خطرة على الإنسان ؛ إذ إنها تخترق الجسم بقوة ، ولايمكن الحماية منها إلا بعازل من الرصاص ، يبلغ سمكه عدة سنتميترات ، أو بعازل من الأسمنت ، يبلغ سمكه عدة أقدام .

. تخترق أشعة جاما الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات . وتجرى معاملة النباتات وهى فى

حقول المفاعلات النووية ؛ حيث تعرض للأشعة المنطلقة من مفاعل ذرى به الكوبالت المشع ^{60}Co يوجد المفاعل تحت الأرض ؛ حيث يوجد العنصر المشع فى صندوق سميك من الرصاص ، ويرفع آليًا من بعد إلى أن تتم المعاملة ، ثم يعاد إلى مكانه تحت الأرض . تحدث الأشعة تأثيراتها بطريق التأين ، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية كثيرة . تستعمل أشعة جاما فى معاملة البذور والبادرات والنباتات النامية فى الأصص فى دوائر حول المفاعل ، وتكون جرعة الإشعاع أعلى مايمكن بالقرب من المفاعل ، وتقل شدتها كلما ابتعدنا عنه .

٥- أشعة إكس x-Rays :

تُولّد أشعة إكس بواسطة أجهزة خاصة ، وهى أشعة كهرومغناطيسية ، ذات طاقة عالية ، وتنتج على مستويات مختلفة من الطاقة بحسب طول الموجة المطلوبة ، وتتراوح أطوال الموجات من ٠,٠٠٥ - ٠,٠١ ميكروناً فى أشعة إكس ذات الموجات القصيرة hard x - rays إلى ٠,١ - ١,٠ مللى ميكروناً فى أشعة إكس ذات الموجات الطويلة soft x-rays . وتزيد طاقة الأشعة وقدرتها على اختراق الأنسجة وإحداث التأين كلما قصرت موجاتها . وتعتبر أشعة إكس خطرة على الإنسان ؛ إذ إنها تخترق الجسم ، ويكفى للحماية منها عازل من الرصاص يبلغ سمكه عدة ملليمترات .

يبلغ مدى اختراق أشعة إكس الأنسجة النباتية من بضعة ملليمترات إلى عدة سنتيمترات ، وهى تحدث تأثيرها بطريق التأين ، وينتج عنها طفرات عاملية ، وتحورات كروموسومية . وبينما تتناسب أعداد التحورات الكروموسومية التى تحدثها أشعة إكس - لوغاريتميًا - مع الجرعة .. فإن أعداد الطفرات العاملية تتناسب - خطيًا - معها ؛ لذا نجد أن العدد الأكبر من التحورات الكروموسومية التى تحدثها المعاملة يضع حداً أعلى للجرعة التى يمكن استعمالها ، وهو ما يحد من عدد الطفرات العاملية التى يمكن إحداثها .

هذا .. وتختلف الجرعة التى يتعين استعمالها من أشعة إكس باختلاف النوع النباتى والجزء المعامل من النبات والعوامل البيئية ؛ فيمكن - مثلاً- تعريض البذور الجافة لجرعات أعلى من الأشعة عن البذور المستنبتة أو الأجزاء الخضرية ؛ لأن البذور الجافة أقل

حساسية للأشعة . والقاعدة العامة هى أن يعرض أى نسيج أو عضو نباتى إلى أكبر جرعة يمكن أن يتحملها ، دون أن تلحق به أضرار من جرّاء المعاملة ؛ ذلك لأن عدد الطفرات المستحدثة يتناسب - خطياً - مع الجرعة كما سبق بيانه ، وتتحدد الجرعة المناسبة بواسطة تجارب أولية لكل محصول على حدة . وعلى سبيل المثال .. فإن الجرعة المناسبة قدرت بنحو ٧٥٠٠ رونتجن فى البسلة ، و ١٠٠٠٠ رونتجن فى الفاصوليا .

وتفضل أشعة إكس عن غيرها من الأشعة المحدثة للطفرات ؛ للأسباب التالية :

أ- تعتبر الأجهزة المولدة لأشعة إكس فى متناول اليد ، ويسهل تشغيلها .
ب- تسهل معاملة البذور والأجزاء النباتية الأخرى بالأشعة .
جـ من السهل تقدير الجرعة المناسبة من الأشعة وقياسها .
د- يمكن وقف تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس عند انتهاء المعاملة ، بخلاف العناصر المشعة التى تشع بصورة مستمرة .
هـ- لاتوجد مشاكل تتعلق ، باستعمال أشعة إكس ؛ كتلك الخاصة بمشاكل التداول أو التلوث بالعناصر المشعة ، ويلزم - مع ذلك - الحرص عند تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس .

وتستعمل أشعة إكس فى معاملة البذور والبادرات ، ويغلب استعمالها فى معاملة البذور .

٦- البروتونات أو الديوترونات :

تولد البروتونات أو الديوترونات بواسطة المفاعلات النووية ، وهى أشعة جزيئية ؛ عبارة عن أنوية ذرات الأيدروجين العادى بالنسبة للبروتونات ، وأنوية ذرات الأيدروجين الثقيل بالنسبة للديوترونات ، وهى خطرة جداً على الإنسان ، ويمكن الحماية من أخطارها ؛ بعازل من الماء ، أو البارافين ، يبلغ سمكه عدة سنتمترات ، وهى تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات . وتعد من الأشعة المؤينة ، وينتج عنها طفرات عاملية ، وتحورات كروموسومية .

٧- النيترونات البطيئة والسريعة :

تولد النيترونات - البطيئة منها والسريعة - بالتحلل النووى لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ فى

مفاعل نووى ، وهى أشعة جزيئية عبارة عن جسيمات عديمة الشحنة ، أثقل قليلاً من البروتونات ، ولايستدل عليها إلاّ من آثار تفاعلها مع أنوية ذرات المادة التى تكون فى مسارها ؛ حيث تطلق البروتونات من الأنوية التى تصيبها . وهى خطرة جداً على الإنسان ، ويمكن الحماية منها بحاجز سميك من عناصر خفيفة ؛ مثل الملح . وهى تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتمترات ، وتعد من الأشعة المؤينة ، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية . وتستعمل هذه الأشعة فى معاملة البذور والبادرات ، خاصة البذور (Elliott ١٩٥٨، وHerskowitz ١٩٦٥ ، و Grosch ١٩٦٥، و Briggs & knowles ١٩٦٧ ، و Chaudhari ١٩٧١ ، و Lapins ١٩٨٣) . ولمزيد من التفاصيل عن الإشعاع وتأثيره البيولوجى .. يراجع Grosch (١٩٦٥) ، و Drake (١٩٦٩)، و Lapins (١٩٨٣) .

المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

تقسم المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات – حسب فاعليتها – إلى الأقسام التالية :

١– مركبات شديدة الفاعلية فى إحداث الطفرات ، ولكنها خطرة الاستعمال ، وسامة ، وقد تسبب الإصابة بالسرطان لو تعرض لها الإنسان ، ومن أمثلها ما يلى :

ethylenimine (EI)
N - nitroso - N - ethylurea (NEU)
N - nitroso - N - methylurea (NMU)
1.4 - bisdiazoacetylbutane

٢–مركبات فعّالة فى إحداث الطفرات ، وشائعة الاستعمال ، ومن أمثلتها :

diethyl sulphate (DES)
ethyl methane sulphonate (EMS) — إيثيل ميثان سلفونيت
methyl methane sulphonate (MMS)
isopropyl methane sulphonate (iPMS)
azide
colchicine — الكولشيسين

٣- مركبات أقل فاعلية فى إحداث الطفرات وأقل استعمالاً ، ومن أمثلتها ما يلى :

الكافين	caffeine
	paraxanthine
	adenine
الفورمالين	formalin
الفينولات	phenols
الماليك هيدرازيد	maleic hydrazide
ثيوسيانات البوتاسيوم	Potassium thiocyanate
	dichloroacetone
	chloroacetone

يعد الإيثيل ميثان سلفونيت (EMS) أهم المركبات المحدثة للطفرات، وأكثرها استعمالاً ، وهو غير سام نسبيًا . يستخدم المركب على صورة محلول مائى تنقع فيه البذور أو الجذور الصغيرة للنباتات التى يراد معاملتها ، وأكثر الطفرات التى يحدثها هى من النوع العاملى .

كما تقسم المركبات المحدثة للطفرات حسب المجموعة الكيميائية التى تنتمى إليها إلى المجاميع التالية :

١- مجموعة شبيهات القواعد Base analogues : تحل محل القواعد النيتروجينية فى الأحماض النووية ، ومن أمثلتها ما يلى :

5-bromo-uracil

5-bromodexoyuridine

2-amino - purine

ومن المركبات القريبة من شبيهات القواعد ما يلى :

8- ethoxy caffeine

maleic hydrazide

Theophyline

Paraxanthine

Theobromine

Tetramethyluric acid

Nebularine

٢- مجموعة مضادات الحيوية Antibiotics ، ومن أمثلتها ما يلى :

Azaserine

mitomycin C

streptonigrin

actinomycin D

٣- مجموعة المركبات القلوية Alkylating Agents :

تنتمى المركبات القلوية المحدثة للطفرات إلى مجاميع كيميائية مختلفة : منها مركبات المسترد الكبريتية Sulfur Mustards ، ومركبات المسترد النيتروجينية Nitrogen Mustards ، والإبوكسيدات Epoxides ، والإيثيلين إمينات Ethyleneimines ، والكبريتات Sulfates والسلفوناتات Sulfonates ، والسلفونات Sulfones ، واللاكتونات Lactones، والديازو ألكينات Diazoalkanes ، ومركبات النيترزو Nitrozo compounds ، ومن أهم المركبات الكيميائية القلوية المحدثة للطفرات مايلى :

Ethyl - 2 - chloroethyl sulfide

2- chloroethyl-dimethyl amine

Ethylene oxide

Ethyleneimine

Ethyl methanesulfonate

Diazomethane

N-ethyl-N-nitroso urea

n-Butylmethanesulphonate

cis- 1 : 4 - Dimethanesulphonoxybut - 2 - ene

p - N - di - (Choloroethy) - phenyl propionic acid

1 : 4 - Dimethanesulphonoxybutane

p - N - di (Chloroethyl) - phenylamino butyric acid

trans - 1 : 4 - Dimethanesulphonoxy but-2-ene

p - N - di - (Choloroethyl) - phenyl valeric acid

p - N - di - (Chloroethyl) - phenyl acetic acid

1 : 2 و 3 : 4 - Diepoxybutane

D : p - N - di - (Chloroethyl) - phenylalanine

L : p - N - di - (Chloroethyl) - phernylalanine

1 : 4 - Dimethanesulphonoxybut - 2 - ene

p - N - di - (Chloroethyl) - phenyl butyric acid

2 : 4 : 6- tri- (Ethyleneimino) - 1 : 3 : 5 - Triazine .

٤- مجموعة الأزايد Azide : ومن أمثلتها مايلى :

Sodium azide

٥- مجموعة الهيدروكسيل أمين Hydroxylamine . من أمثلتها ما يلى :

Hydroxlamine

٦- مجموعة حامض النيتروز : Nitrous Acid .. من أمثلتها ما يلى :

Nitrous Acid

٧- مجموعة الأكريدينات Acridines .. ومن أمثلتها ما يلى :

Acridine orange

٨- مركبات أخرى مثل :

Chloroacetone

Dichloroacetone

Potassium Thiocyanate

Ethyl Carbamate

Formalin

Phenolo (عدة فينولات)

Manganous chloride

يجب تداول جميع المركبات المحدثة للطفرات بحذر شديد ؛ فتؤخذ كافة الاحتياطات ' كي لا تصل منها أية كمية إلى جوف الإنسان ، أو تلامس جلده ، كما ترتدى القفازات عند زراعة البذور المعاملة .

وبصورة عامة .. فإن المركبات الكيميائية تحدث تأثيرها بطريقى التأين والإثارة ، وينتج عنها طفرات عاملية أكثر من التحورات الكروموسومية ، إلاّ أن النسبة بين نوعى الطفرات تختلف باختلاف المركب المستعمل (Williams ١٩٦٤ ، Lapins ١٩٨٣) . ولدراسة فعل المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات على المستوى الجزيئى ..يراجع Drake(١٩٦٩) .

برنامج التربية باستحداث الطفرات

أهداف البرنامج

لايلجأ المربى إلى التربية باستحداث الطفرات إلاّ بعد استنفاد كل الوسائل الأخرى الممكنة لتحسين المحصول . ويجرى برنامج التربية بالطفرات - عادة - لتحقيق واحد أو أكثر من الأهداف التالية :

١- إحداث طفرات فى جين واحد ، أو فى عدد محدود من الجينات :

يكون ذلك هو الهدف الأمثل ، عندما يرغب المربى فى تحسين أحد الأصناف الجيدة فى إحدى الصفات المهمة التى تنقصه ؛ خشية أن تؤدى التربية بالطرق الأخرى إلى فقدان الصنف بعض خصائصه التى تميزه عن غيره . وكثيرا ما يفاضل المربى بين طريقتى التربية بالتلقيح الرجعى وبالطفرات ، آخذاً فى الحسبان مدى سهولة إحداث الطفرة المرغوبة ، ومدى ارتباطها بالطفرات الأخرى غير المرغوبة .

وتجدر الإشارة إلى أن التربية بالطفرات لاستحداث طفرة فى جين واحد هى الطريقة الوحيدة الممكنة لتحسين الأصناف الممتازة من المحاصيل الخضرية التكاثر نظراً

لأن اللجوء إلى التكاثر الجنسى عند تربيتها يعنى الابتعاد كثيراً عن التركيب الوراثى للصنف . وعملياً .. تعتبر التربية بالطفرات فى المحاصيل الخضرية التكاثر بديلة للتربية بطريقة التهجين الرجعى فى المحاصيل الجنسية التكاثر .

هذا .. وقد تستحدث الطفرات العاملية ؛ بغرض الاستفادة منها فى تحسين المحصول فى برامج التربية الأخرى .

٢- تحسين الصفات الكمية :

على الرغم من أن الصفات الكمية يتحكم فيها عدة جينات .. إلاّ أنه أمكن إحراز تقدم كبير فيها بالتربية بالطفرات ؛ فمثلاً .. تمكن Gregory فى عام ١٩٥٦ من إنتاج طفرات من الفول السودانى بالمعاملة بأشعة إكس ، وكانت هذه الطفرات أعلى محصولاً من الصنف الأصلى (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

٣- إحداث زيادة فى نسبة العبور :

قد يكون الغرض من تعريض النباتات للعوامل المطفرة - خاصة الإشعاع - هو إحداث زيادة فى نسبة العبور ؛ لإعطاء الفرصة لحدوث عبور بين الجينات المرتبطة بشدة وبين الجينات التى توجد فى المناطق القريبة من السنترومير ، وهى التى تقل فيها نسبة العبور الطبيعى . ويساعد العبور - فى هذه الحالات - على انعزال تراكيب وراثية جديدة ، قد يرغب المربى فى الحصول عليها .

٣- إحداث تحورات كروموسومية :

تحدث المعاملة بالعوامل المطفرة تحورات كروموسومية كثيرة يمكن الاستفادة بها فى برامج التربية ؛ فمثلا .. أمكن - عن طريق إحداث كسور كروموسومية فى أماكن معينة من الكروموسومات - نقل صفة المقاومة لصدأ الأوراق فى القمح من أحد الانواع البرية إلى القمح المزروع .

٤- إحداث طفرات فى الجينات السيتوبلازمية التى تتحكم فى الصفات التى تورث عن طريق الأم . ويذكر أنه حتى عام ١٩٧٢ أمكن إنتاج ٩٨ صنفاً محصولياً ، و٤٧ صنفا من نباتات الزينة من طفرات مستحدثة . ومن الأصناف المحصولية .. أنتج ٨٥ صنفاً منها

بالانتخاب المباشر للطفرات المستحدثة ، بينما أنتجت الثلاثة عشر صنفاً الأخرى من برامج تربية ، تضمنت تهجينات بين الطفرات وأصناف - أو سلالات - أخرى (Welsh ١٩٨١).

ويمكن القول إنه فى حالات عدم وجود الصفات المرغوبة فى جيرمبلازم المحصول (المحلى والعالمى) ، أو عندما لايُرغب فى إحداث أى تغييرٍ وراثى فى صنف تجارى هام (ولو بطريقة التهجين الرجعى) .. فإن التربية بالطفرات تعد هى الطريقة المثلى لتحسين المحصول وإكسابه الصفات المطلوبة . ولايعتد - فى هذا الشأن - بانخفاض معدل حدوث الطفرات ، أو بزيادة نسبة الطفرات الضارة ، فإن طفرة واحد مفيدة من كل ألف طفرة يمكن أن تسهم فى تحسين المحصول بشكل جوهرى ، خلال فترة زمنية وجيزة ، وبجهد أقل مما فى طرق التربية الأخرى .

طرق المعاملة بالعوامل المطفرة

توجد ثلاث طرق رئيسية لمعاملة النباتات بالعوامل المطفرة هى :

١- معاملة حبوب اللقاح :

تتميز طريقة معاملة حبوب اللقاح بسهولتها وإمكان التحكم فى العوامل البيئية المحيطة من رطوبة ، وحرارة ، وضغط جوى ... إلخ ، كما تعامل كميات كبيرة من حبوب اللقاح فى حيز صغير . وتنفرد طريقة معاملة حبوب اللقاح بميزة أخرى ، وهى أن الطفرات المحدثة فى حبة اللقاح تنتقل إلى كل خلايا الجنين الذى ينشأ منها (بعد إخصابها إحدى البيضات) ، ثم إلى كل خلايا النبات الذى ينمو منه .

٢- معاملة البذور :

تتميز طريقة معاملة البذور - مثل الطريقة السابقة - بسهولتها وإمكان التحكم فى العوامل البيئية المحيطة ، مع معاملة كميات كبيرة من البذور فى حيز صغير؛ إلا أن الطفرة إن حدثت فى إحدى خلايا الجنين فى البذرة .. فإنها لاتظهر إلا فى جزء من النبات الذى ينمو منها ؛ فلايكون النبات كله ذا تركيب وراثى واحد ، كما يحدث عند معاملة حبوب اللقاح . وتختلف الجرعة المناسبة من الإشعاع لمعاملة البذور باختلاف النوع المحصولى ،

وأفضلها هى التى تؤدى إلى فقدان حيوية ٥٠٪ من البذور ، وهى التى تعرف باسم Lethal Dose 50 (LD_{50}) . وقد تحددت بالفعل الجرعة المناسبة من أشعة إكس بالنسبة لمعظم الأنواع المحصولية . ويراعى أن تكون البذور التى يراد معاملتها عالية الحيوية ، وتحتوى على قدر مناسب من الرطوبة ، ولاتكون رطوبتها شديدة الانخفاض أو عالية بدرجة كبيرة .

٢ – معاملة الاجزاء الخضرية :

تختلف الجرعة المناسبة لمعاملة الأجزاء الخضرية باختلاف النوع والصنف ، وتزيد فى الأنسجة المتخشبة عما فى الأنسجة العشبية ، وتتراوح الجرعة المناسبة غالبا من ٢٠٠٠ – ٤٠٠٠ رونتجن ، ويحسن أن تجرى المعاملة فى أولى مراحل تكوين البرعم ، وأفضل وقت لذلك هو عندما يكون برعم المستقبل عبارة عن خلية واحدة ، أما إن كان ذلك صعب التحقيق فيجب محاولة تطوير طرق جديدة لتشجيع تكوين براعم عرضية من الأجزاء المعاملة (IAEA ١٩٦٨) ، ويفضل إجراء المعاملة على البادرات الصغيرة ؛ لسهولة تداولها وإحضارها للمفاعلات فى أصص . كما يعامل خشب الطعوم لأشجار الفاكهة أثناء الشتاء والربيع ، ثم يطعم على الأصل المناسب ، تبدو النموات الأولى التى تظهر من البراعم المعاملة طبيعية عادة ، وتجب إزالة هذه النموات حتى الطعم المعامل تقريباً ؛ لأن ذلك يزيد من فرصة ظهور الطفرات فى النموات الجديدة . ومع تكرار التقليم حتى الطعم المعامل .. فإن خشب الطعم قد يستمر فـى إنتاج نموات تظهر فيها طفرات جديدة وغالباً ما تكون معظم الطفرات المتكونة على شكل كيميرا محيطية . هذا .. ولايكون من اليسير معاملة الشجيرات والأشجار بالإشعاع ؛ لصعوبة تداولها .

ولاتستخدم النظائر المشعة بكثرة فى إحداث الطفرات ؛ نظراً لصعوبة التخلص منها ، وهى تفضل عند الرغبة فى إحداث الطفرات فى الإنسجة الداخلية للنبات ، وذلك بتغذية النبات بأحد العناصر المشعة ؛مثل الفوسفور المشع ^{32}P أو الكبريت المشع ^{35}S ؛ حيث يمتصها النبات كما لو كانت عناصرها ثابتة ، ويتحرك العنصر مع الماء الممتص إلى الأنسجة الميرستيمية . وتنتقل هذه النظائر مع تيار الماء فى النبات كأيونات لهذه العناصر، ولكنها تتغير أثناء وجودها فى النبات – بسبب عدم ثباتها – إلى عناصر أخرى ؛ فيتغير ^{32}P إلى كبريت ، ويتغير ^{35}S إلى كلورين عندما تشع منها جزيئات بيتا .

وتجدر الاشارة إلى أفضلية معامله النباتات المزهرة ؛ لأن الانقسام الميوزى (الاختزالى) يكون أكثر حساسية للإشعاع من الانقسام الميتوزى .

هذا .. ولاتجب معاملة الأجزاء الخضرية المصابة بالفيروسات إلا عند الضرورة القصوى . ويلزم - فى هذه الحالة - التمييز بين أعراض الإصابة الفيرسية والطفرات التى يمكن أن تظهر نتيجة للمعاملة . ولمزيد من التفاصيل عن برامج التربية بالطفرات فى الفاكهة والمحاصيل الحقلية التى تتكاثر خضريًا .. يراجع IAEA (١٩٧٣) .

٤- معاملة مزارع الخلايا والأنسجة :

تعامل مزارع الخلايا أو الأنسجة بالعامل المطفر ، ثم تقيم المزرعة بعد المعاملة فى بيئات تسمح بالتعرف على الصفات المرغوبة ، وتنمى الخلايا أو الأنسجة الحاملة للطفرة المرغوبة ، إلى أن تصبح نباتات كاملة .

وأيًا كانت طريقة المعاملة بالعوامل المطفرة .. فإنه تجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمنع حدوث أى ضرر للقائمين بها .

العوامل المؤثرة فى فاعلية العوامل المطفرة

تتأثر مدى فاعلية العوامل المطفرة فى إحداث المطفرات بالعوامل التالية :

١- مستوى الأكسجين :

يؤثر مستوى الأكسجين فى الجزء النباتى المعامل على مدى الضرر الذى يمكن أن يحدثه العامل المطفر له . فكلما ارتفع مستوى الأكسجين .. زادت الأضرار ، وزادت معدلات التحورات الكروموسومية ، نسبة إلى الطفرات العاملية . ويمكن تقليل - أو تجنب - أضرار الأكسجين بمعاملة البذور ، وهى مشبعة بالرطوبة ، أو وهى فى حيز خال من الأكسجين . أما إذا رغب فى زيادة فاعلية وجود الأكسجين .. فإن المعاملة إما أن تجرى على البذور الجافة ، وإما أن توضع البذور فى محاليل المركبات الكيمائية المطفرة ، مع دفع فقاقيع الهواء بها .

٢- المحتوى الرطوبى :

يرتبط تأثير المحتوى الرطوبى مباشرة بمستوى الأكسجين فى النسيج النباتى المعامل ؛ إذ إن المحتوى الرطوبى المرتفع يصاحبه انخفاض فى مستوى الأكسجين ، ويختلف مدى تأثير المحتوى الرطوى باختلاف الأنواع النباتية ، والعوامل المطفرة المستخدمة ؛ فهو أكثر أهمية بالنسبة لأشعة إكس ، وأشعة جاما منه بالنسبة للنيترونات السريعة .

٣- درجة الحرارة :

ليس لدرجة الحرارة أهمية تذكر عند المعاملة بالإشعاع ، ولكنها على درجة كبيرة من الأهمية بالنسبة للمعاملة بالمركبات الكيميائية المطفرة ؛ حيث تؤثر فى الفترة الزمنية اللازمة لحدوث التفاعل بين المركب والنسيج النباتى ، ويطلق على الفترة الزمنية اللازمة لتفاعل نصف كمية المركب مع النسيج النباتى اسم نصف الحياة half - life . وتتراوح هذه المدة بالنسبة لمركب الـ EMS من ٩ر٧ ساعة عند درجة حرارة ٤٠°م إلى ٧٩٦ ساعة عند درجة حررة ٥°م ، وتبلغ مدة نصف الحياة للمسترد الكبريتى sulfur mustard ثلاث دقائق فقط عند درجة حرارة ٣٧°م .

٥- الظروف السابقة للمعاملة :

يؤدى نقع البذور فى الماء فترة - قبل تعريضها للعوامل المطفرة - إلى زيادة نسبة رطوبتها ، وفقدان بعض المركبات القابلة للذوبان فى الماء ، وبدء نشاط الإنبات وتمثيل الحامض النووى DNA . وكل هذه التغيرات تؤثر فى معدل حدوث الطفرات . ويمكن زيادة رطوبة البذور دون أن تباشر فى الإنبات ؛ بنقعها فى الماء على درجة الصفر المئوى . ويراعى - فى هذه الحالة - أن يكون الماء متحركا حول البذور مع تغييره كل ١٥ — ٣٠ دقيقة .

٦- الظروف التالية للمعاملة :

يجب ألا تخزن البذور المعاملة بالإشعاع لأكثر من أسابيع قليلة قبل زراعتها ، ويفضل أن يكون تخزينها فى وسط خال من الأكسجين . وإذا كان من الضرورى تخزينها لفترات

أطول من ذلك .. فيجب أن يكون التخزين على درجة الصفر المئوى .

أما فى حالات المعاملة بالمركبات الكيميائية .. فإنه يراعى غسيل البذور بماء جارٍ لمدة ثمانى ساعات ، إذا رغب فى تجفيف البذور وتخزينها قبل الزراعة ، ولكن الأفضل هو غسيل البذور بالماء لفترة قصيرة ، ثم زراعتها مباشرة .

٤- الـ pH :

للـ pH أهمية كبيرة بالنسبة للمركبات الكيميائية المطفرة ؛ لأنه يؤثر فى مدى الضرر الفسيولوجى ، ومعدلات الطفرات العاملية والتحورات الكروموسومية التى يمكن أن يحدثها المركب ، وتختلف المركبات فى هذا الشأن ؛ فبينما يستعمل مركب الـ EMS عند pH ٧ .. فإن أزايد الصوديوم sodiom azide يكون أكثر فاعلية عند PH ٣ . ويفضل - إذا استعملت المحاليل المنظمة - أن يستعمل منظم الفوسفات بتركيز لايزيد على ٠,١ مولار .

تداول أجيال التربية بالطفرات

يعطى الجيل الأول الذى ينتج من زراعة بذور سبقت معاملتها أو معاملة حبوب اللقاح التى استخدمت فى إنتاجها الرمز M_1 (نسبة إلى كلمة mutation أى طفرة) ، وتعطى الأجيال التالية الرموز M_2 ، و M_3 ... إلخ ، كما يفضل البعض استعمال الرموز : R_1 ، و R_2 ، و R_3 ... إلخ (نسبة إلى كلمة radiation أى إشعاع) . وقد تستعمل الرموز X_1 ، و X_2 ، و X_3 ... إلخ عند استعمال أشعة إكس فى إحداث الطفرات ، كما تستخدم الرموز نفسها كذلك فى حالات معاملة الأجزاء الخضرية ، مع الإكثار الخضرى للنباتات الناتجة ، رغم أن نباتات الـ M_2 أو الـ M_3 لاتختلف وراثيًا - فى حالات الإكثار الخضرى - عن نباتات الـ M_1 .

نادراً ما تظهر أية طفرات على نباتات الجيل الطفرى الأول (M_1) ؛ لأن معظم الطفرات تكون متنحية ، بينما تظهر على نباتات هذا الجيل التغيرات الفسيولوجية التى لاتورث (ويراعى - مع ذلك - انتخاب نباتات الجيل الطفرى الأول التى يشتبه فى أن بها طفرات) . تلقح جميع نباتات الـ M_1 ذاتيًا ، أو يجرى التلقيح فيما بينها فى حالات العقم أو عدم التوافق الذاتى .

وأيًا كانت الطريقة التى اتبعت فى المعاملة بالعامل المطفر .. فإنه لابد من زراعة نباتات

غير معاملة من نفس الصنف للمقارنة ؛ لأن تلك هى الوسيلة الوحيدة الممكنة للتمييز بين الطفرات الحقيقة والاختلافات الوراثية الطبيعية ، التى قد توجد فى الصنف ، وتستمر زراعة نباتات المقارنة فى الأجيال الطفرية التالية كذلك .

يبدأ الانتخاب فى الجيل الثانى M_2 ؛ لأن ذلك هو الجيل الذى تنعزل فيه الطفرات المتنحية بحالة أصيلة فى حالة التكاثر الجنسى ، ولأنه يكون الجيل الذى يختفى فيه التأثير الفسيولوجى للمعاملة بالعوامل المطفرة أيًا كانت طريقة تكاثر المحصول . وتزرع نباتات الجيل الطفرى الثانى على مسافات واسعة ، حتى يمكن دراسة كل منها على انفراد ، مع زراعة نحو ١٠-١٢ نباتاً من كل نسل فى خط مستقل . ويكفى هذا العددللعثور على نبات واحد أصيل متنح - على الأقل - فى الطفرة . لكن نظراً لأن نسبة بسيطة للغاية من نباتات الجيل الطفرى الأول هى التى تحدث بها الطفرات ، لذا .. تجب زراعة عدة آلاف من الأنسال فى الجيل الطفرى الثانى ؛ لإعطاء الفرصة لظهور الطفرات إن وجدت . وإذا تعارض ذلك مع الإمكانات المتاحة .. فإنه تفضل زراعة ٣ بذور M_2 من كل من ١٠٠٠ نبات M_1 عن زراعة أعداد كبيرة من بذور الـ M_2 من كل من عدد محدود من نباتات الـ M_1 ، وتنتخب النباتات المرغوبة فقط ، وتلقح ذاتياً لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثالث M_3 ، وتستبعد جميع النباتات التى يكون نموها طبيعياً . وإذا كان المطلوب هو العثور على طفرة فى جين واحد فقط بأحد الأصناف المرغوبة .. فإنه تلزم زراعة ١٠٠٠٠ نسل M_2 على الأقل ؛ لأن معدل ظهور الطفرة المرغوبة فى غياب الطفرات الأخرى غير المرغوبة يكون منخفضاً للغاية .

يقتصر برنامج التربية بعد ذلك على تقييم الطفرات التى أمكن استحداثها ؛ فتزرع عدة خطوط من كل طفرة فى الجيل الطفرى الثالث M_3 ، وتقارن الطفرات المرغوبة منها مع الأصناف التجارية المهمة فى تجارب صغيرة بمكررات فى الجيل الطفرى الرابع M_4 ، والخامس M_5 . وتقارن الطفرات المتميزة منها فى تجارب موسعة فى الجيلين الطفريين السادس M_6 والسابع M_7 .

وعموما .. فإن تداول النباتات ابتداء من الجيل الطفرى الثانى يكون بإحدى أربع طرق هى :

١- انتخاب النسب .

٢- انتخاب التجميع .

٣- التحدر من بذرة واحدة .

٤- اختبار الأجيال المبكرة .

هذا .. وقد تكثر الطفرة المتنحية ، وتستعمل كصنف ، جديد مباشرة ، أو تستخدم كسلالات تربية في برامج أخرى لتربية المحصول ، إن لم تكن صالحة للاستعمال كصنف جديد . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Fehr (١٩٨٧) .

الأمور التي يجب مراعاتها في برنامج التربية بالطفرات

يجب أن تتوفر لدى المربي رؤية واضحة بالنسبة للأمور التالية في برنامج التربية بالطفرات :

١- اختيار الجيرمبلازم المناسب لمعاملته :

إذا كان المطلوب هو تحسين صنف جيد في صفة مرغوبة تنقصه .. فإن أفضل جيرمبلازم للمعاملة هو ذلك الصنف . وإذا كانت الصفة التي يُراد تحسينها كمية .. فإن على المربي أن يقارن بين مستوى الصفة في الصنف التجاري ، ومستواها في السلالات والأصناف الأخرى ، حتى إن لم تكن تصلح للزراعة التجارية ؛ فإذا كان مستوى الصفة المرغوبة أعلى في سلالة غير مزروعة مما في الصنف التجاري .. فإن فرصة تحسين مستوى الصفة إلى الدرجة المطلوبة بالطفرات تكون أكبر في السلالة عما في الصنف التجاري ، ويقابل ذلك ؛ أن السلالة لن يمكن استخدامها في الزراعة بعد اكتسابها الصفة ، وإنما تستخدم كمصدر للصفة في برنامج للتربية ، بينما يستعمل الصنف التجاري في الزراعة مباشرة بعد اكتسابه الصفة بالطفرات .

٢- اختيار مصدر البذور :

يجب العناية باختيار البذور من أفضل المصادر الموثوق بها ، لكي تمثل الصنف تمثيلاً صادقاً . وأفضل البذور لهذا الغرض هي بذور الأساس Foundation Seed ، أو حتى بذور المربي Breeder seed إن أمكن ؛ لتجنب وجود أية نباتات مخالفة للصنف يمكن أن تعتبر - خطأً - طفرات مستحدثة .

٣- اختيار العامل المطفر والجرعة المناسبة :

يلزم - إن لم تتوفر معلومات كافية عن أنسب العوامل المطفرة والجرعة المناسبة منها - أن تتم المعاملة بأكثر من عامل مطفر ، وبعدة جرعات من كل منها . كما تجب زراعة نباتات المقارنة بعد معاملة بذورها بالطريقة ذاتها ، ولكن دون التعرض للعامل المطفر .

٤- اختيار عدد البذور المناسب للمعاملة :

يتوقف عدد البذور المناسب التي تجب معاملتها على حيوية البذور بعد المعاملة ، وعدد النباتات والأنسال التي يمكن تقييمها في الجيل الطفرى الثانى ، ومعدل حدوث الطفرات فى الصفات المرغوب فيها ، ومدى سهولة تقييم هذه الصفات . ومن الطبيعى أن عدد البذور التى تجب معاملتها يزيد عند نقص حيوية البذور المعاملة بدرجة كبيرة ، وعندما يقل معدل حدوث الطفرات فى الصفات المرغوبة .

٥- طريقة التلقيح لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثانى :

بينما تترك نباتات الجيل الأول من النباتات الذاتية التلقيح على طبيعتها لإنتاج بذور الجيل الطفرى الثانى فإن النباتات الخلطية التلقيح إما أن تلقح ذاتيا يدويا ، وإما أن تترك للتلقيح الخلطى فيما بينها ، ولكن يلزم فى هذه الحالة تأمين مسافة عزل كافية بين حقل نباتات الجيل الطفرى الأول ، وأية حقول أخرى من النوع نفسه ؛ لمنع التلقيح الخلطى الخارجى .

مزارع الأنسجة كمصدر للطفرات

من المعروف أن مزارع الأنسجة يمكن أن تكون مصدرا غنيا بالاختلافات الوراثية التى تحدث بفعل الطفرات . ويستخدم المصطلح Somaclonal Variation لوصف مثل هذه النوعية من الاختلافات . وقد ظهرت اختلافات كثيرة بهذه الطريقة فى مزارع أنسجة لمحاصيل متباينة ؛ مثل قصب السكر ، والبطاطس ، والأرز ، والدخان ؛ فأمكن -مثلا- العثور على سلالات من قصب السكر مقاومة لمرض فيجى (وهو مرض فيرسى تنقله نطاطات الأوراق) ، والبياض الدقيقى ؛ وكانت بعض هذه السلالات أعلى محصولاً من الصنف الأصلى المستخدم فى عمل مزارع الأنسجة . كما عثر على سلالات من البطاطس

من صنف رست بيـربانك Russet Burbank (الذى يعد أكثر الأصناف انتشـاراً فى الزراعة فى أمريكا الشمـالية) ، اختلفت عن الصنف الأصلى فى بعض الصـفات ؛ مـثل اندماج النمو ، وموعد النضج ، وتجانس الدرنات ، ولون جلد الدرنة ، واحتياجات الفترة الضوئية ، وإنتاج الثمار . وتعتبر بعض هذه الصفات (مثل تجانس الدرنات ، والتبكير فى وضع الدرنات) بمثابة تحسن عن الصنف الأصلى . كما أمكن عزل سلالات بطاطس من مـزارع الأنسـجة ، كـانت مـقـاومة لمرض الندوة المبكرة ، تحت ظروف الحقل ، كما كان بعضها مقاوماً لعدة سلالات من الفطر المسبب لمرض الندوة المتأخرة ، وقد اختلفت إحدى السلالات الناتجة من مزارع الأنسجة عن الصنف رست بيربانك فى ١٧ صـفـة . وأمكن الحصـول على سـلالات من الأرز ، تخـتلف عن الصنف الأصلى فى عدد الخلفـات ، وطول السنبلة ، وطول ورقـة العلم flag leaf وصـفـات أخرى . ولمزيد من التـفـاصـيل عن هذا الموضـوع .. يراجع Scowcroft & Larkin (١٩٨٢) ، و Maliga وآخـرون (١٩٨٢) ، والفصل الثامن عشر من هذا الكتاب .

الفصل الرابع عشر

التضاعف

تسمى جميع النباتات -التى تحتوى على ضعف العدد الأساسى للكروموسومات- ثنائية الهيئة الكروموسومية diploid . ويرمز لكل هيئة كروموسومية بالرمز س (أو x)؛ وبذا .. فإن النباتات الثنائية تكون ٢س . هذا .. بينما تحتوى كثير من النباتات على عدد من الكروموسومات ، يختلف عن ضعف العدد الأساسى ؛ فقد تحتوى على أربعة أضعاف - أو ستة أضعاف - العدد الأساسى للكروموسومات ؛ أى تحتوى على أربع (٤س) أو ست (٦س) هيئات كروموسومية كاملة على التوالى . وتعرف هذه النباتات بأنها متضاعفة. وسواء أكان النبات متضاعفاً ، أم غير متضاعف .. فإنه يستعمل الرمز ٢ن (أو 2n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية ، والرمز ن (أو n) للدلالة على عدد الكروموسومات فى الطور الجاميطى (البويضات وحبوب اللقاح) ؛ وعليه .. فإن البسلة - مثلا - وهى نبات ثنائى عادى تكون فيها ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسوماً ، بينما تكون جاميطاتها ١ن = ١س = ٧ كروموسومات . أما فى نبات مثل البطاطس -وهى تحتوى على أربع هيئات كروموسومية كاملة- فإن فيها ٢ن = ٤س = ٤٨ كروموسوماً ، بينما تكون فيها الجاميطات ١ن = ٢س = ١٢ كروموسوماً .

تعرف جميع النباتات التى تحتوى على عدد من الكروموسومات -يختلف عن ضعف العدد الأساسى- بأنها متضاعفة polypolid ، وتقسم حالات التضاعف Polidy (أو

polypolidy) إلى فئتين كما يلى :

١- التعدد الكروموسومى غير التام Aneuploidy :

لاتحتوى النباتات -التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى غير التام- على مضاعفات العدد الأساسى للكروموسوم ؛ كأن ينقصها -مثلا- كروموسوم أو أكثر ، أو يزيد فيها كروموسوم أو أكثر عن مضاعفات العدد الأساسى .

٢- التعدد الكروموسومى التام Euploidy :

تحتوى النباتات التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام على هيئة كروموسومية واحدة ، أو أية مضاعفات للهيئة الكرموسومية غير الحالة الثنائية العادية .

تنتشر ظاهرة التضاعف انتشاراً كبيراً فى المملكة النباتية ، وبخاصة فى المحاصيل الاقتصادية المهمة ؛ مثل القمح ، والقطن ، والبطاطس ، والكاسافا ، والدخان . وتقدر نسبة النباتات المتضاعفة بنحو ٣٠-٣٥٪ من مغطاة البذور ، وترتفع هذه النسبة إلى ٧٠٪ بين النجيليات .

تظهر النباتات المتضاعفة فى الطبيعة بمحض الصدفة ؛ فمثلاً .. تتكون النباتات التى ينقص منها كروموسوم ، أو يزيد فيها كروموسوم عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى (فى الحالات التى لاتنفصل فيها الكروموسومات الشبيهة عن بعضها البعض Nondisjunction) يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ن - ١ ، أو ن + ١ من الكروموسومات . كما تظهر حالات التضاعف الكروموسومى التام عند حدوث خلل فى الانقسام الميوزى ، يؤدى إلى تكوين جاميطات بها ٢ن من الكروموسومات .

التعدد الكروموسومى غير التام

يشتمل التعدد الكروموسومى غير التام Aneuploidy على الحالات التى لايكون فيها عدد الكروموسومات الموجودة فى النواة الجسمية مساويًا تماماً لمضاعفات الهيئة الكروموسومية ؛ كأن يحتوى النبات على كروموسوم أو أكثر ، فى حالة نقص أو زيادة عن الحالة الثنائية Disomic ، بشرط ألا يتضمن النقص أو الزيادة هيئة كروموسومية كاملة .
ونبين - فيما يلى - مختلف أنواع التعدد الكروموسومى غير التام .

أحادى الكروموسوم

تحتوى النباتات الأحادية الكروموسوم monosomiscs على كروموسوم واحد أقل مما فى الحالة العادية (٢ن – ١) . وقد دُرِسَتْ أفراد من هذا النوع فى القمح ، والدخان ، وبعض النباتات الأخرى التى توجد بها ظاهرة التعدد الكروموسومى التام ، ولكنها نادراً ماتوجد فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية (التى يكون فيها ٢ن = ٢س) ؛ لأن نقص كروموسوم كامل فى مثل هذه النباتات يؤدى إلى عقمها ، وغالباً مايؤدى إلى موتها . أما فى النباتات المتضاعفة كالقمح .. فإن النقص فى كروموسوم كامل لايكون له تأثير كبير فى الفرد ؛ حيث يقوم التكرار الموجود فى الهيئة الكرموسومية مقام الكروموسوم المفقود .

ونجد أن الكروموسوم المفرد يبقى غالباً فى أثناء الانقسام الاختزالى فى المحور الوسطى للخلية ، ولايتجه نحو أى من القطبين ؛ وبذلك .. يفقد فى السيتوبلازم ، وتتكون نتيجة لذلك حبوب لقاح تحتوى على العدد الأحادى الكامل من الكرموسومات ، وتكون طبيعية ، وحبوب لقاح أخرى ينقصها كروموسوم كامل (ن–١) وتكون عقيمة . إلا أن البيضات التى تكون بهذا الشكل ربما لاتكون عقيمة ، وحينما تُخصب بحبوب لقاح عادية (ن) .. تتكون زيجوتات أحادية الكروموسوم (٢ن–١) . هذا .. وتكون الأفراد الأحادية الكروموسوم غالبا أصغر حجما من الأفراد العادية وغير مستقرة وراثيًا ، وتصل نسبة العقم فيها إلى ٥٠٪ .

وتستعمل النباتات الأحادية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات التى توجد بها مختلف الجينات ؛ نظراً لأنها تعطى انعزالات غير عادية بالنسبة للجينات التى توجد على الكروموسوم الناقص . كما استخدمت النباتات الأحادية فى إحلال كروموسوم محل آخر ، ويتم الإحلال بالتلقيح الرجعى للسلالة الأحادية الكروموسوم . وقد يكون الكروموسوم الجديد –الذى يحل محل الكروموسوم الناقص– من نفس النوع أو الجنس النباتى ، أو من نوعٍ أو جنسٍ آخر .

أحادى – ثنائى الكروموسوم

تحتوى النباتات أحادية – ثنائية الكروموسوم Monoisodisomics على كروموسوم

متماثل الذراعين isochromosome مكان أحد أزواج الكروموسومات ؛ ويعنى ذلك أن نصف الكروموسوم المكرر فى هذا الكروموسوم يكون ممثلاً مرتين ، بينما يختفى - تماماً - النصف الآخر بما يوجد عليه من جينات .

غائب الكروموسومين

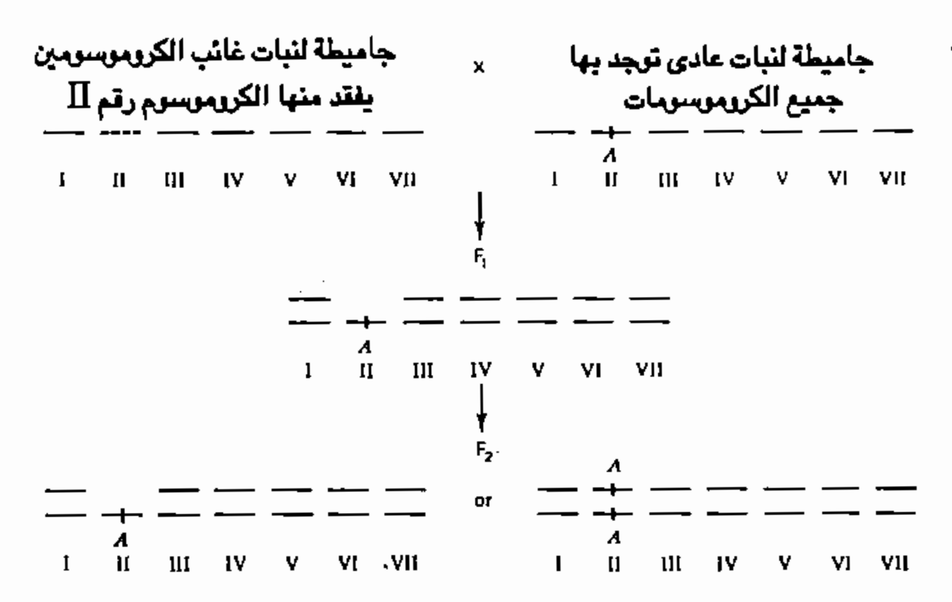
إن الأفراد الغائبة الكروموسومين Nullisomics هى التى يغيب فيها زوج كامل من الكروموسومات المتماثلة ؛ أى تكون (٢ن - ٢) ، وتنشأ عندما تخصب بيضة (ن-١) بحبة لقاح (ن-١) . لم يمكن إنتاج الأفراد غائبة الكروموسومين إلا فى النباتات المتضاعفة ؛ لأن عمل زوج الكروموسومات الناقص يمكن أن تقوم به -جزئياً- الكروموسومات الأخرى المثيلة homologus فى حالة التضاعف الذاتى ، أو الكروموسومات المناظرة من الهيئة الكروموسومية الأخرى homeologus فى حالة التضاعف الهجينى .

وتكون النباتات غائبة الكروموسومين -مثل بقية النباتات ذات التعدد الكروموسومى غير التام -أضعف نمواً من النباتات الثنائية العادية ، وغير ثابتة وراثياً ، ويكون انقسامها الاختزالى غير متوازن ؛ لذا .. فإنها تكون على درجة عالية من العقم ، وتكون عديمة القيمة كأصناف تجارية .

يستفاد من النباتات غائبة الكروموسومين فى تحديد الكروموسومات التى تحمل الجينات المختلفة (لأن وراثة الصفات فيها تشذ عن النسب العادية ، عندما تكون الجينات محمولة على زوج الكروموسوم الغائب ؛ شكل ١٤-١) ، وفى نقل كروموسومات كاملة -تحمل جينات مرغوباً فيها- من نفس النوع أو من نوع ، أو جنس آخر بطريقة التهجين . ويطلق على السلالات التى يحل فيها زوجا أحد الكروموسومات من أحد الأنواع محل زوج شبيه من نوع آخر اسم Alien Substitution Iines ، وهى غالباً ماتختلف فى صفاتها - بشدة - عن النوع الأصلى .

أحادى الكروموسوم المزدوج

إن الفرد الأحادى الكروموسوم المزدوج Double Monosomic ينقصه كروموسومان غير متماثلين non - homologus ؛ أى يكون (٢ن-١-١) . ولاتتوفر هذه الحالة إلا فى النباتات المتضاعفة ، وينطبق عليها كل ما سبق ذكره بالنسبة للأفراد غائبة الكروموسومين .



شكل (١٤ - ١) : استعمال الأفراد الغائبة الكروموسومين فى تحديد الكروموسوم الحامل لجين معين . يفترض أن حالة غياب الكروموسوم لاتنتقل عن طريق الأم (عن Welsh ١٩٨١) .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الأولى

تحتوى الخلايا الجسمية للأفراد الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى Primary Trisomics على كروموسوم واحده زائد على الحالة الثنائية العادية (٢ن+١) ؛ أى يكون فيها أحد الكروموسومات ؛ ممثلاً ثلاث مرات . تنعزل الكروموسومات فى أثناء الانقسام الاختزالى الأول فى مثل هذه النباتات - عادة - بتوجه كروموسومين متماثلين إلى قطب ، وتتوجه الكروموسوم الثالث المماثل إلى القطب المضاد . ويتوقف ذلك على الاقتران الكروموسومى الذى يكون -عادة- على هيئة وحدة ثلاثية الكروموسوم trivalent .

تنتقل الحالة ثلاثية الكروموسوم عن طريق الأمهات ؛ لأن الكروموسوم الزائد يكون - عادة - مميتاً لحبوب اللقاح . وعند تكوّن الجاميطات المؤنثة فى نبات ثلاثى الكروموسوم .. يتوقع أن تكون نصف البيضات طبيعية ؛ أى تحتوى على العدد الأحادى (ن) من الكروموسومات ، والنصف الآخر يحتوى على (ن +١) من الكروموسومات . وعندما تخصب البيضات بحبوب لقاح تحتوى على (ن) من الكروموسومات .. فإن النسل الناتج يكون من طرازين ، أحدهما ثنائى الكروموسوم (٢ن) ، والآخر ثلاثى الكروموسوم (ن + ١) ؛ وعليه .. فإنه يتوقع انتقال الحالة ثلاثية الكروموسوم إلى النسل بنسبة النصف ، إلا أنها تكون - فى الحقيقة - أقل من النصف ، ويرجع ذلك إلى أن الكروموسوم الزائد قد يفقد - أحياناً - فى أثناء الانقسام الاختزالى ؛ ولهذا السبب .. فإن النباتات ثلاثية الكروموسوم تكون غير ثابتة وراثياً ، وتعود - تدريجياً - إلى الحالة الثنائية ، إلا إذا حوفظ عليها بالانتخاب .

وقد لوحظت النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الأولى فى كثير من النباتات ؛ مثل الداتورة ، والطماطم ، والذرة ، والقمح ، والدخان . وأمكن فى بعض النبات إنتاج عدد من الطرز ثلاثية الكروموسوم ، مساوٍ لعدد الكروموسومات فى الهيئة الكروموسومية للنوع . وكانت بداية الدراسات التى من هذا النوع على نبات الداتورة ؛ حيث تمكن Blackslee من التعرف على ١٢ سلالة طبيعية ثلاثية الكروموسوم، تمثل كل منها كروموسوماً زائداً من الاثنى عشر كروموسوماً التى تضمها الهيئة الكروموسمية للداتورة . كما ذكر Rick (١٩٨٧) مواصفات اثنتى عشرة سلالة مماثلة ثلاثية الكروموسوم فى الطماطم ، علما بأن الطماطم تحتوى - هى الأخرى - على اثنى عشر زوجا من الكروموسومات . وفى جميع الحالات .. كانت لكل سلالة ثلاثية الكروموسوم صفات مورفولوجية خاصة ، تميزها عن النباتات الثنائية العادية ، وعن غيرها من السلالات الثلاثية الكروموسوم ... إلا أن السمة المميزة الغالبة عليها جميعًا كان ضعف وبطء النمو .

ويستفاد من النباتات ثلاثية الكروموسوم فى تحديد الكروموسومات الحاملة لجينات معينة . ويجرى ذلك -بالنسبة لإحدى الصفات- بتلقيح نبات يحمل هذه الصفة بحالة متنحية أصيلة (aa) مع جميع السلالات ثلاثية الكروموسوم الممكنة من هذا النوع ، على أن تكون جيمعها أصيلة فى الأليل السائد A ، ثم تنتج بذور الجيل الثانى لكل تلقيح ، وتزرع

لدراسة الصفة فى مختلف عشائر الجيل الثانى .

ويلاحظ أن انعزال الصفة يكون عاديًا ، وبنسبة ٣ سائداً : ١ متنحياً فى جميع عشائر الجيل الثانى ، فيما عدا واحدة منها ، هى التى تنتج من التلقيح مع السلالة الثلاثية الكرموسوم التى يُحمل الجين المدروس على كروموسومها المكرر بحالة ثلاثية ؛ إذ يَكون التركيب الوراثى لهذه السلالة AAA ، ويكون التركيب الوراثى لبعض نباتات الجيل الأول Aa ، وبعضها الآخر AAa . والنوع الثانى من النباتات هو الذى يعطى انعزالات غير طبيعية فى الجيل الثانى ؛ لأنها تنتج نوعين من الجاميطات ، يكون بأحدهما (ن) ، وبالآخر (ن + ١) من الكروموسومات . ولاتظهر الأفراد التى تحمل الصفة المتنحية فى الجيل الثانى إلا إذا لقحت بيضة (ن) تحمل الآليل (a) بحبة لقاح مماثلة ، وهى تتكون – نظريًا – بنسبة ١ متنحية : ٣٦ سائدة . وبرغم أن نسبة كبيرة من الجاميطات التى تحمل كروموسوماً زائداً (ن + ١) تكون عقيمة –وهو مايترتب عليه أن تكون معظم الجاميطات المتكونة ثنائية (٢ن)– إلا أن نسبة النباتات المتنحية الأصيلة aa تبقى أقل بكثير مما فى عشائر الجيل الثانى للطرز الأخرى الثلاثية الكروموسوم .

وراثة صفة الأزهار المزدوجة فى المنثور :

يوجد نوعان من الأزهار فى المنثور ، ينتج أحدهما أزهاراً مفردة ، وينتج الآخر أزهاراً مزدوجة . والنوع الثانى هو المرغوب تجاريًا ، وهو خالٍ من أعضاء التذكير وأعضاء التأنيث ، ويكثر من بذور منتجة على نباتات تحمل أزهاراً مفردة . وقد وجدت ثلاثة طرز من النباتات ذات الأزهار المفردة ، تختلف فيما تنتجه عند تلقيحها ذاتيًا كما يلى : طراز يكون نسلة الناتج من التلقيح الذاتى ذا أزهار مفردة فقط ، وطراز آخر ينعزل فيه النسل بنسبة (١) ذا أزهار مزدوجة : (٣) ذا أزهار مفردة ، وطراز ثالث تكون فيه ٥٤–٥٦٪ من النباتات التى تنتج من تلقيحه ذاتيًا ذات أزهار مزدوجة . ومن الطبيعى أن الطراز الثالث هو الطراز الذى يفضل استخدامه فى إنتاج البذور ، ويطلق عليه اسم ever sprouting ؛ بسبب النسبة العالية للنباتات ذات الأزهار المزدوجة التى تظهر فى النسل .

وقد اقتُرِحَ لتفسير هذه الحالة وجود جين مميت متنحٍ ، يؤدى إلى موت نصف حبوب اللقاح ، ونحو ٦–٨٪ من البيضات ، وأن هذا الجين يحمل على نفس الكروموسوم الذى يحمل عليه الجين الذى يتحكم فى حالة الأزهار المفردة ، وهو جين سائد ؛ وعليه .. فإن

النباتات ذات الأزهار المفردة إما أن تكون أصيلة ، وإما أن تكون خليطة فى الصفة . وتنتج الأفراد الأصيلة نباتات ذات أزهار مزدوجة فقط (أى إنها تكون من الطراز الأول) ، وتنتج الأفراد الخليطة نباتات ذات أزهار مزدوجة ، وأخرى ذات أزهار مفردة ؛ بنسبة ١ : ٣ (أى إنها تكون من الطراز الثانى) . أما الطراز الثالث من النباتات ذات الأزهار المفردة (الـ ever sprouting) ؛ فقد افترض أنه يكون خليطاً فى كل من الجين المميت والجين الذى يتحكم فى نوع الأزهار ، وهى حالة يترتب عليها زيادة نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة فى النسل إلى ٥٤ - ٥٦٪ .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية التى أجريت على نباتات الطراز الثالث (الـ ever sprouting) أنه توجد بأحد الكروموسومات عقدة knob لاتوجد بالكروموسوم المماثل homologus chromosome فى نفس الخلية ، وأن وجود هذه العقدة كان ضروريًا لحيوية حبوب اللقاح ؛ بمعنى أن حبوب اللقاح التى لايصل إليها الكروموسوم الذى يحتوى على العقدة لاتنبت . هذا .. بينما تكون جميع البيضات خصبة ، سواء احتوت على الكروموسوم ذا العقدة ، أم على الكروموسوم الآخر . ويعنى ذلك أن العقدة تحمل الجين الذى يتحكم فى صفة الأزهار المزدوجة - وهو جين متنح - ويؤدى موت حبوب اللقاح التى لاتحمل هذا الجين (وهى الخالية من العقدة) إلى أن يكون نصف النسل أصيلاً فى هذا الجين المتنحى وذا أزهار مزدوجة ، والنصف الآخر خليطاً ، وذا أزهار مفردة وهى الصفة السائدة . إلا أن نسبة النباتات ذات الأزهار المزدوجة تزيد قليلاً على ٥٠٪ (تصل إلى ٥٤ - ٥٦٪) ، ربما بسبب موت بعض البيضات ، التى تخلو من الكروسوم ذى العقدة .

وقد وجد نبات من الطراز الثالث كانت أوراقه ضيقة جداً ، وقد أنتج هذا النبات لدى تلقيحه ذاتيًا نسلاً كانت ٤٧٪ من نباتاته ذات أزهار مفردة ، و ٥٣٪ ذات أزهار مزدوجة ، وهى النسبة العادية . وقد كانت ٣٧٪ من نباتات النسل ذات أوراق ضيقة وضعيفة النمو ، وكانت النباتات الباقية طبيعية الأوراق ، إلا أنها ضمت -فيما بينها -٩٠٪ من النباتات ذات الأزهار المزدوجة .

ونظراً لأن النباتات ذات الأوراق الضيقة يمكن التعرف عليها بسهولة ، حتى وهى فى طور البادرة ؛ لذا .. فإنه يمكن التخلص منها بسهولة فى هذه المرحلة من النمو ؛ لتتبقى - بعد ذلك - النباتات ذات الأوراق الطبيعية فقط ، وهى التى ترتفع فيها نسبة النباتات

ذات الأزهار المزدوجة إلى ٩٠٪ .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن النباتات ذات الأوراق الضيقة .. تحتوى على كروموسوم زائد (٢ن + ١) . ويبدو أن هذا الكروموسوم الذى يوجد ممثلا ثلاث مرات هو الذى يحمل الجين المسئول عن نوع الأزهار ؛ كما يبدو أنه يحمل أيضاً الجين المسئول عن صفة الأوراق الضيقة ؛ لأنه لم يلاحظ إلا فى هذه النوعية من النباتات . ويتبين من ذلك كيف أن التخلص من النباتات ذات الأوراق الضيقة يؤدى – فى الوقت نفسه – إلى التخلص من معظم النباتات ذات الأزهار المفردة (عن Emsweller وآخرين ١٩٣٧) .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثانية

تحتوى النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية Secondary Trisomics على كروموسوم زائد ، يكون عبارة عن نصف كروموسوم (ذراع كروموسومى) عادى مكرر مرتين ؛ أى إن الكروموسوم الزائد يكون متضاعف الذراعين isochromosome ؛ وبمعنى آخر .. فإن الذراع المكرر يكون ممثلا فى الخلية الواحدة أربع مرات ؛ وبذلك .. يتوقع إمكان وجود طرز ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثانية تساوى ضعف عدد أزواج كروموسومات النوع . وقد اكتشف Blackslee عدداً كبيراً من هذه الطرز فى الداتورة . والمعادلة العامة لحالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثانية هى : (٢ن + ١٠١) ، أو (٢ن + ٢٠٢) ؛ حيث تدل الأرقام ١ ، و ٢ ... إلخ على رقم الكروموسوم الذى يتكرر نصفه .

ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة

تنشأ حالة ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة Tertiary Trisomics من انتقال كروموسومى ؛ إذ إن الكروموسوم الزائد يتكون من نصفى كروموسومين غير متماثلين . والمعادلة العامة لهذه الحالة هى : (٢ن + ٣٠١) ؛ حيث تدل الأرقام ١ ، و ٣ ... إلخ على أرقام الكروموسومات التى ترتبط أنصافها فى كروموسوم واحد زائد . يتوقع وجود طرز كثيرة جداً من هذه الحالة فى كل نوع نباتى ، وقد حصل Blackslee على بعضها فى الداتورة .

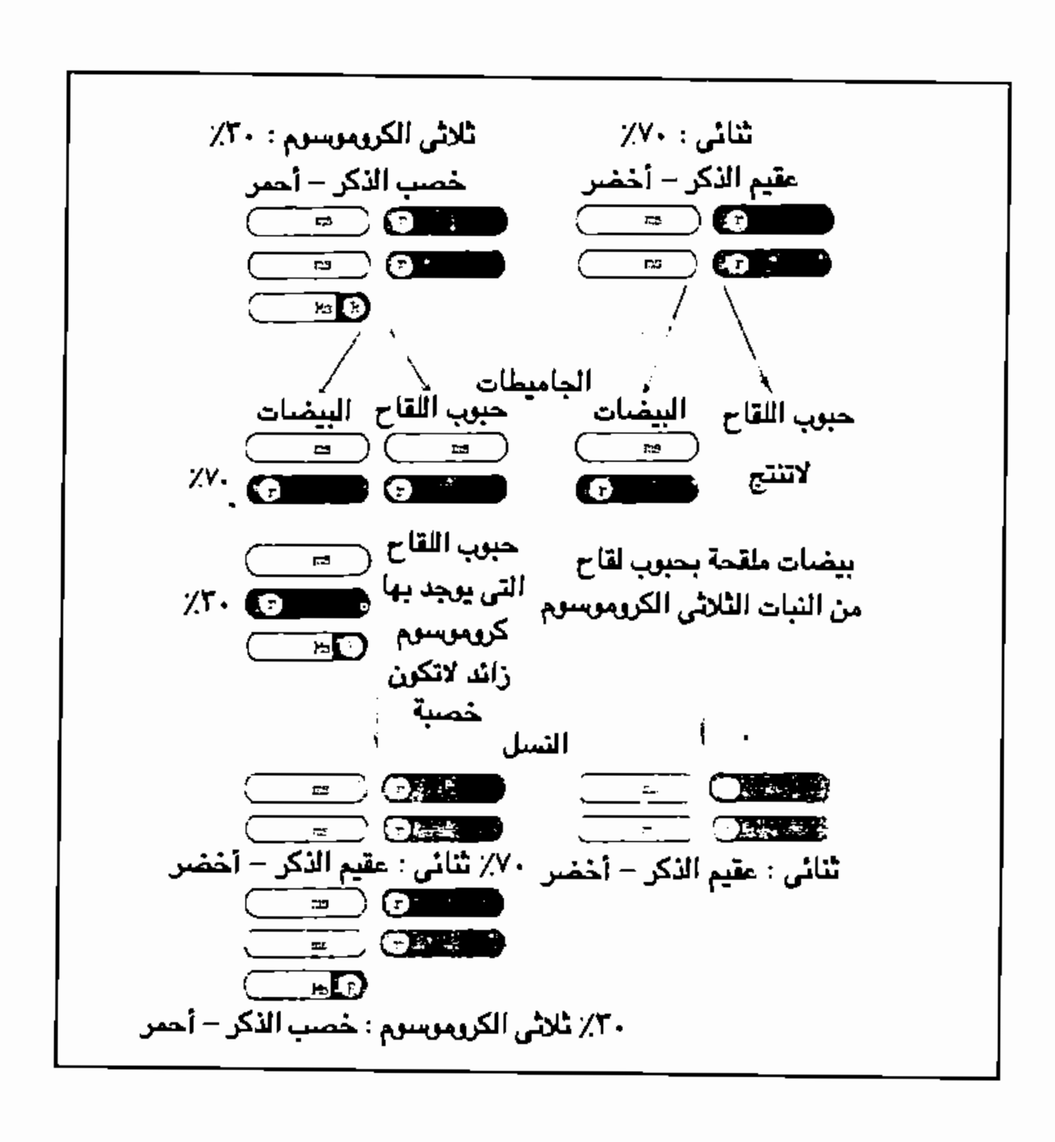
ويمكن الاستفادة من حالات النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة فى إنتاج الهجن التجارية ، وقد سبق أن أوضحنا فى الفصل العاشر (شكل ١٠-٢) كيف يمكن

الاستفادة من هذه الظاهرة فى إكثار نباتات الشعير العقيمة الذكر . ويبين شكل (١٤-٢) الطريقة التى اقترحها Ramage ، واستخدمها لإنتاج هجن الشعير (عن Briggs & Knowles ١٩٦٧) . ويتطلب الأمر أن يكون طراز الثلاثى الكروموسوم من الدرجة الثالثة متوازناً Balanced Tertiary Trisomic ؛ فيحتوى على أليل العقم الذكرى بصورة متنحية أصيلة (ms ms) على زوج الكروموسومات الذى يحمل - طبيعياً - هذا الجين ، كما يحمل الأليل السائد لهذا الجين (Ms) على الكروموسوم الزائد . ويعنى ذلك أن النسل الثنائى العادى لهذا النبات يكون - دائماً - عقيم الذكر ، بينما تكون النباتات الخصبة الذكر - دائماً - ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة . ويتوزع النسل بينهما - غالباً - بنسبة ٧٠٪ ، و٣٠٪ للنباتات العقيمة الذكر والخصبة الذكر على التوالى . كما يكون كل نسل النباتات الثنائية عقيم الذكر أيضاً .

وحقيقة الأمر أن ١٪ - أو أقل - من نسل النباتات ثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة يكون ثلاثى الكروموسوم من الدرجة الأولى ، ولكنها تكون عقيمة الذكر ؛ لأن كل كروموسوماتها تحمل الأليل ms . وكما فى جميع الحالات الثلاثية الكروموسوم .. فإن الكروموسوم الزائد لاينتقل خلال حبوب اللقاح ، ويحدث ذلك -على الأقل- فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية diploids .

وإذا حمل زوج آخر من الكروموسومات الأليل المتنحى (r) الذى يتحكم فى اللون النباتى الأخضر ، وحمل الكروموسوم الزائد الأليل الآخر السائد لهذا الجين (R) ، الذى يتحكم فى اللون النباتى الأحمر ؛ فحينئذ .. تكون كل النباتات الحمراء ثلاثية الكروموسوم ، بينما تكون كل النباتات الخضراء ثنائية المجموعة الكروموسومية .

وتحصد النباتات الثلاثية الكروموسوم من خليط النباتات الثلاثية الكروموسوم من الدرجة الثالثة والثنائية المجموعة الكروموسومية يدوياً ، وتستعمل كمصدر للنباتات الثلاثية الكروموسوم وثنائية المجموعة الكروموسومية فى الموسم التالى . وتحصد النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية المتبقية آلياً ، وتستخدم كأم فى حقول إنتاج الهجن . ويتطلب استخدام النباتات الثلاثية الكروموسوم - من الدرجة الثالثة المتوازنة فى إنتاج بذور هجن الشعير - أن ينتج النباتات الثلاثى الكروموسوم حبوب اللقاح بوفرة ، وأن تتوفر الظروف البيئية التى تسمح بانتقال حبوب اللقاح إلى



شكل (١٤ – ٢) : طريقة استخـدام النبـاتات الثـلاثـية الكـروموسـوم من الدرجـة الثالثة المتوازنة Balanced Tertiary Trisomics فى انتاج هجن الشعير . يراجع المتن للتفاصيل .

النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العقيمة .

ثلاثى الكروموسوم المزدوج

يوجد فى النباتات الثلاثية الكروموسوم المزدوجة Double Trisomics كروموسومان ، يكون كل منهما ممثلاً ثلاث مرات ، والمعادلة العامة لهذه الحالة هى : (٢ن + ١ + ١) .

رباعى الكروموسوم

يكون أحد الكروموسومات فى النباتات الرباعية الكروموسوم Tetrasomics ممثلا أربع مرات ، بينما توجد باقى الكروموسومات فى الحالة الثنائية ، والمعادلة العامة لذلك هى : (٢ ن + ٢) . ونظراً لوجود أربعة كروموسومات متماثلة .. فإنها غالباً ماتقترن ببعضها ؛ لتكون وحدة رباعية الكروموسوم quadrivalent أثناء الدور الضام من الانقسام الميوزى . ويتوجه -غالباً- زوج من الكروموسومات - من الوحدة الرباعية الكروموسوم - إلى كل قطب ؛ وبذا .. يكون النظام ثابتاً وراثياً ، إلا أن النسب الوراثية التى يتحصل عليها تختلف تماماً عما فى النباتات ثنائية المجموعة الكروموسومية العادية ؛ نظراً لوجود كل جين على الكروموسوم الزائد ممثلاً أربع مرات . هذا .. وقد تتكون -أحياناً- وحدة ثلاثية الكروموسوم ، وأخرى أحادية ، وقد تتكون وحدة مستقلة ثنائية الكروموسوم من زوج الكروموسوم الزائد ؛ لذا .. فإنه تلاحظ -أحياناً- نسبة من العقم . وتوجد الحالات الرباعية الكروموسوم بكثرة فى النباتات ، وتكون مختلفة - مظهريًا - عن قريناتها من النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية ، ويطلق عليها اسم Chromosome Addition Lines .

وتوجد حالات رباعية الكروموسوم ، يكون فيها زوج الكروموسوم الزائد من نوع نباتى مختلف ، وهى التى يطلق عليها اسم Alien Addition Lines . وهى تختلف فى مظهرها وفى سلوكها السيتولوجى عن النوع الأول (Chromosome Addition Lines) ؛ نظراً لأن زوج الكروموسوم الزائد لايقترن بأى من الكروموسومات الأخرى أثناء الانقسام الميوزى ، وإنما يكون وحدة إضافية ثنائية الكروموسوم .

متعدد الكروموسوم

يحتوى الفرد المتعدد الكروموسوم Polysomic على أكثر من كرموسومين زائدين من أحد كروموسومات الهيئة الكروموسومية ، وهى قد تكون خماسية الكروموسوم Pntasomics (٢ن + ٣) ، أو سداسية الكروموسوم Hexasomics (٢ن+ ٤) ... إلخ .

ولمزيد من التفاصيل عن موضوع التعدد الكروموسومى غير التام واستخداماته فى مجال تربية النبات .. يراجع Elliott (١٩٥٨) ، Burnham (١٩٦٦) ، و Swanson وآخرون (١٩٧٦) ، و Peloquin (١٩٨١) .

تعدد المجموعة الكروموسومية التام

تحدث حالات تعدد المجموعة الكروموسومية التام Euploidy حينما يشمل التضاعف جميع كروموسومات الهيئة الكروموسومية للنبات ؛ وتوجد منها أنواع كثيرة . وبرغم أن نقص عدد الكروموسومات إلى هيئة كرموسومية واحدة كاملة (١ن) يعد اختزالا ، وليس تضاعفاً .. إلا أن حالات النباتات الأحادية هذه تدرج ضمن حالات تعدد المجموعة الكروموسومية التام . ونبين -فيما يلى- مختلف أنواع التعدد الكروموسومى التام .

احادية المجموعة الكروموسومية

تحتوى الخلايا الجسمية للنبات الأحادية المجموعة الكروموسومية monoploids على العدد الأحادى من الكروموسومات (١ن) ، ويطلق عليها – بوجه عا م – اسم Haploids . هذا .. إلا أن النباتات الأحادية المتحصل عليها من نباتات ثنائية يطلق عليها اسم Monohaploids (وفيها ن = ١س) ، بينما يطلق على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات الرباعية tetraploids اسم dihaploid (وفيها ن = ٢ س) ، ويطلق اسم trihaploid على النباتات الأحادية المتحصل عليها من النباتات السداسية hexaploids (وفيها ن = ٣ س) ... إلخ .

تكون الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية صغيرة الحجم -عادة- وأضعف نمواً من مثيلاتها الثنائية المجموعة الكرموسومية ، كما تكون على درجة عالية من العقم . ويرجع

العقم إلى أن كل كروموسوم يوجد فى هذه النباتات بحالة مفردة ؛ وبذلك .. لايحدث أى اقتران كروموسومى ، ويكون الإنعزال الكروموسومى غير منتظم ، وتحتوى معظم الجاميطات التى تنتجها النباتات الأحادية على نقص فى كروموسوم واحد أو أكثر ؛ لذا .. فإنها تكون غالباً عديمة الحيوية . هذا .. إلا أن جميع الكروموسومات قد تتجه – أحياناً – إلى قطب واحد من قطبى الخلية فى الدور الانفصالى من الانقسام الميوزى ، وتتكون بذلك جاميطة طبيعية . ويؤدى تزاوج جاميطتين من هذا النوع إلى تكون فرد ثنائى المجموعة الكروموسومية .

ونظراً لأن احتمال توجه أى كروموسوم إلى أى من قطبى الخلية هو ٠,٥ ؛ لذا .. يكون احتمال توجه جميع الكروموسومات فى أثناء الانقسام الميوزى إلى أى من قطبى الخلية هو $(\frac{1}{2})^{ن}$ ؛ حيث تمثل (ن) عدد الكروموسومات فى الهيئة الكروموسومية ؛ وعليه .. نجد فى نبات كالذرة (وهو يحتوى على ١٠ أزواج من الكرموسومات) أن هذا الاحتمال يساوى $(\frac{1}{2})^{10}$ ، أو جاميطة من كل ١٠٢٤ جاميطة . ويتضح من ذلك لِمَ تكون نسبة العقم عالية فى الأفراد الأحادية المجموعة الكروموسومية ؛ لذا .. فإنها تكثر بالطرق الخضرية كلما أمكن ذلك .

تكون جميع الجينات فى النباتات الأحادية ممثلة مرة واحدة ؛ ويعنى ذلك ظهور الصفات التى تتحكم فيها الأليلات المتنحية . ويوصف التركيب الوراثى فى هذه الحالة بأنه hemizygous . وتعتبر تلك هى الحالة الطبيعية فى النباتات الدنيئة ، إلا أنها تعد حالة شاذة بالنسبة للنباتات الاقتصادية .

تبلغ نسبة النباتات الأحادية التى تتكون طبيعياً بالتوالد البكرى (*in vivo*) parthenogensis فى الذرة نحو ٠,١٪ ؛ وهى تتكون بنمو إحدى الخلايا الأحادية بالكيس الجنينى إلى جنين . وقد ينشأ الجنين الأحادى فى أحيان قليلة من الجاميطة المذكرة مع سيتوبلازم الجاميطة المؤنثة . كما يمكن إنتاج النباتات الأحادية صناعياً بواسطة مزارع المتوك والمبايض . ويستفاد من النباتات الأحادية فى الجوانب التالية :

١– تؤدى مضاعفتها بالكولشيسين إلى إنتاج نباتات ثنائية أصيلة ، قد يمكن الاستفادة منها فى إنتاج الهجن الفردية والزوجية ، دونما حاجة لعمليات التربية الداخلية ،

التي تستغرق عدة سنوات ، وقد تستعمل كأصناف جديدة محسنة ؛ كبعض أصناف الدخان ، والأرز ، والقمح ، التي أنتجت بمضاعفة نباتات أحادية .

٢- تفيد النباتات الأحادية -المتحصل عليها من النباتات المتضاعفة- في إجراء الدراسات الوراثية للصفات الكمية ؛ مثل دراسات التباين الوراثي ، والارتباط ، وعدد الجينات ومواقعها (Dunwell ١٩٨٥) .

٣- نقل الجينات من نوع إلى آخر ، وإحلال كروموسوم من أحد الأنواع محل آخر .

٤- التربية بالطفرات :

يمكن معرفة الطفرات المتنحية التي تظهر في النباتات الأحادية مباشرة ، دونما حاجة إلى إنتاج الجيل الطفري الثاني (M_2) ؛ لأن الطفرة تكون في حالة hemizygous . ويكون من الأفضل معاملة مزارع الخلايا الأحادية ، وإجراء التقييم والانتخاب وهي على هذه الصورة . وقد أمكن بهذه الطريقة التعرف على طفرات مقاومة لمضادات الحيوية ، وشبيهات الأحماض الأمينية ، ومبيدات الحشائش . ويعاب على هذه الطريقة في إنتاج الطفرات أن استعمالها مقصور على الأنواع القليلة التي يمكن أن تبقى مزارع خلاياها الأحادية على حالتها ، مع إمكان دفعها إلى تكوين نباتات أحادية .

وقد أمكن إنتاج أجنة أحادية *in vivo* من مبايض الأزهار بعد تعريضها لإحدى المعاملات التالية : تأخير التلقيح - التلقيح بحبوب لقاح معاملة بالإشعاع - التلقيح بحبوب لقاح من أنواع أخرى - تعريض الأزهار لدرجات حرارة منخفضة . وقد أمكن زيادة نسبة النباتات الأحادية (ن) بعد العثور على مايسمى بالملقحات الفائقة superior pollinators لبعض النباتات ؛ مثل الذرة ، والبطاطس . كما أمكن الحصول على عدد كبير من النباتات الأحادية من الشعير من التلقيح *Hordeum vulgare x H . bulbosum* باستعمال مزارع الأجنة . وقد تبين أن الأجنة الأحادية نشأت من الأجنة الهجين باستبعاد كروموسومات النوع *H . bulbosum* خلال المراحل الأولى لتكوين الأجنة .

ويذكر chu (١٩٨٢) أنه أمكن -حتى عام ١٩٨٢- إنتاج نباتات أحادية من حبوب اللقاح فيما لايقل عن ١١١ نوعًا نباتيًا ، ينتمي معظمها إلى العائلات الباذنجانية ، والنجيلية ، والصليبية . ومنها بعض الأنواع الخشبية ؛ مثل جنسي الحمضيات *Citrus* ، والعنب *Vitis* . ويعطى المرجع قائمة كاملة بهذه الأنواع .

وقد أمكن إنتاج أجنة أحادية بكثرة فى الشمام بتلقيح الأزهار المؤنثة صباح يوم تفتحها بحبوب لقاح معاملة بأشعة إكس . وينتج هذا التلقيح ثماراً طبيعية المظهر ، تحتوى داخلها على بعض الأجنة الأحادية ، بالإضافة إلى الأجنة الثنائية العادية . هذا .. ويلزم التعرف على الأجنة الأحادية المتكونة بعد ثلاثة أسابيع من التلقيح اليدوى ، ونقلها إلى بيئة صناعية ، وإلا .. فإنها تنهار وتختفى إذا تركت فى الثمار لأكثر من ذلك .

وقد أمكن تقليل الجهد اللازم للتعرف على هذه الأجنة ؛ بجمع البنور من الثمار بعد ٤-٧ أسابيع من التلقيح ، وفحصها بجهاز أشعة إكس العادى الذى يستخدم فى الأغراض الطبية . وتكون الأجنة صغيرة جدًا - قبل ذلك ، ويصعب تداولها ، بينما تبدأ الأجنة فى الانهيار لوتركت لأكثر من سبعة أسابيع . ويلزم تجفيف الأجنة - جزئيًا - قبل فحصها ؛ حتى لاتبدو معتمة فى الفيلم ، مع مراعاة عدم الإفراط فى التجفيف ؛ حتى لاتفقد حيويتها ، ويكون التجفيف على درجة ٤م لمدة ١٥ ساعة . وتوضع البنور - بعد تجفيفها- على لوح من البوليسترين سمكه ٥ مم ، وتغطى بشريط لاصق شفاف ، ثم تعرض لأشعة إكس . وتبدو البنور -التى تحتوى على أجنة أحادية- أقل عتمة على الفيلم من البنور التى تحتوى على أجنة ثنائية (Savin وآخرون ١٩٨٩) .

متعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا أو الذاتية التضاعف

تحتوى النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية ذاتيًا - أو الذاتية التضاعف - Autopobyloids أو Autoploids على مضاعفات كاملة للهيئة الكروموسومية ؛ كأن تكون ٣س ، أو ٤ س ... إلخ . وتأخذ الدرجات المختلفة من التضاعف أسماء مختلفة كما يلى :

عدد مضاعفات الهيئة الكروموسومية (س)	الاسم	
٣ س	ثلاثية المجموعة الكروموسومية	Triploids
٤ س	رباعية المجموعة الكرموسومية	Tetraploids
٥ س	خماسية المجموعة الكروموسومية	Pentaploids
٦ س	سداسية المجموعة الكروموسومية	Hexaploid
٧ س	سباعية المجموعة الكروموسومية	Heptaploids
٨ س	ثمانية المجموعة الكروموسومية	Octaploids

توجد حالات التضاعف الذاتى فى كثير من النباتات ، خاصة تلك التى تتكاثر خضرياً؛ لأنها غالباً ماتكون على درجة عالية من العقم .

تتشابه النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية مع النباتات الأحادية فى كونها على درجة عالية من العقم ، لكنها تتميز عنها بأنها تحتل مركزاً مهماً بين النباتات المزروعة؛ إذ ينشأ عن حالة التضاعف الثلاثى تأثيرات مورفولوجية وفسيولوجية مرغوبة . وتكون النباتات الثلاثية - غالباً - قوية النمو ، كما تكون ثمارها كبيرة الحجم ، وخالية من البذور، وتوجد منها أصناف تجارية كثيرة تكثر خضرياً ، ومن أمثلتها : الموز ، ونحو ربع أصناف التفاح الأمريكية الهامة ، وبعض أصناف الكمثرى والمشمش اليابانى ، وبعض أصناف الكريزانثيمم التى تتميز بإنتاج مرتفع من البيرثيرم ، وبعض أشجار الحور التى تتميز بسرعة النمو العالية ، وعديد من نباتات الزينة ؛ مثل العائق وبعض أصناف التيولب، والجلاديولس . وتزرع أصناف ثنائية مع أصناف التفاح والمشمش والكمثرى الثلاثية ؛ لتكون مصدراً لحبوب اللقاح فى الحقول الإنتاجية . أما الموز .. فإن ثماره تعقد بكرياً ، ولاتوجد البذور إلا فى الموز الثنائى المجموعة الكروموسومية ، وهو لايزرع تجارياً .

ومن بين النباتات الاقتصادية الهامة المتضاعفة ذاتياً كل من : البطاطس ، والبن ، والبرسيم الحجازى ، والفول السودانى وجميعها رباعية التضاعف ، والبطاطا وهى سداسية التضاعف .

وتتميز النباتات المتضاعفة - عامة - بزيادة طول الساق ، وحجم الأوراق والأزهار ؛ ويحدث ذلك نتيجة للزيادة فى حجم خلاياها ، وليس فى أعدادها . كما تظهر بها فروق فى أشكال الأعضاء النباتية المختلفة ، وتكون أبطأ نمواً ، وأصلب عوداً من نظيرتها الثنائية المجموعة الكرموسومية . كذلك يزيد تركيز بعض المركبات الكيميائية فى النباتات الرباعية مقارنة بالنباتات الثنائية ، ومن أمثلة ذلك ما يلى :

١- محتوى المطاط فى الداندليون الروسى .
٢- محتوى الأتروبين والقلوانيات الأخرى فى أوراق الداتورة .
٣- محتوى النيكوتين فى الدخان .
٤- محتوى «الكمفور» Champhor فى أوراق الريحان .
٥- محتوى حامض الأسكوربيك فى أوراق الكرنب وثمار الطماطم .

٦- محتوى المواد الكاروتينتة فى الذرة الصفراء .

٧- محتوى الألياف فى القطن والجوت .

متعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة أو الهجينية التضاعف

تنشأ الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة - أو الهجينية التضاعف - Alloploids حينما تجرى تلقيحات معينة بين أفراد من مجموعتين مختلفتين من الوجهة التقسيمية . وتكون أفراد الجيل الأول الناتجة من هذا التهجين عقيمة - غالباً - لوجود الكروموسومات فى الفرد الهجين بحالة مفردة دون قرين ، إلا أنها قد تتقارن - جزئياً - إذا كانت الاختلافات بين الهيئات الكروموسومية للأبوين بسيطة ؛ وتعرف الهجن فى هذه الحالة باسم المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئياً Segmental Alloploids . وتعرف الكروموسومات المتماثلة جزئياً فى هذه الهجن باسم Homoelogus Chromosomes .

وقد يحتوى الفرد الهجين على جميع الكروموسومات التى توجد فى أبويه ؛ ويحدث ذلك فى إحدى الحالتين التاليتين :

١- حينما ينشأ الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة من اتحاد جاميطات ثنائية (٢ن) ، تكونت إما بمحض الصدفة ، وإما نتيجة لمضاعفة كروموسومات الآباء صناعياً قبل إجراء التهجين .

٢- إذا حدث تضاعف لكروموسومات الفرد المتعدد المجموعات الكروموسومية الخليطة .

تعرف هذه الأفراد التى تحتوى خلاياها الجسمية على جميع الكروموسومات التى توجد فى كل من أبويها باسم المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids . ولايختلف السلوك الكروموسومى لهذه الأفراد فى الانقسام الميوزى عن الأفراد الثنائية المجموعة الكروموسومية العادية . وتكون هذه النباتات صادقة التربية لنوعها truee breeding ، إلا إذا كانت نشأتها بالطريقة الأولى ، وكانت الآباء خليطة أصلاً .

مختلفة من التقارن التفاضلى Preferential Paring ، أو الاختيارى Selective Pairing فى حالة الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية amphidiploids التى تكون فيها كروموسومات الأبوين متشابهة جزئياً Homoelogus ، كما سيتضح عند بيان السلوك السيتولوجى للنباتات الهجينية التضاعف .

وتتلخص عملية الاقتران الكروموسومى فى الوحدات الرباعية الكروموسوم (فى الأفراد الرباعية المجموعة الكرموسومية) فيما يلى : تظهر الكروموسومات الأربعة المتماثلة فى الدور القلادى ، ثم تتصل فى أزواج فى الدور التزاوجى . يبدأ الاتصال عند عدة مواقع على امتداد الكروموسومات ؛ وبذلك .. يقترن كل كروموسوم من الكروموسومات الأربعة بكروموسوم آخر منها عند مواقع مختلفة . ومع نهاية الدور الضام .. يكون الكروموسوم الواحد قد اقترن مع كروموسومات مختلفة (شكل ١٤-٤) ، وانقسم كل كروموسوم منها إلى كروماتيدتين ، وتكون قد تكونت الكيازمات chiasmata ؛ نتيجة للعبور بين الكروموسومات المتقارنة . ويؤدى الاختلاف فى عدد ومواقع الكيازمات إلى ظهور عدة أشكال مميزة (مثل الوحدات الثنائية الكروموسوم ، والسلاسل ، والحلقات) فى الدور الانفراجى .

وبعد أن تتعلق الوحدات الرباعية الكروموسوم بخيوط المغزل فى دور الوضع المتوسط الأول .. فإن الانفصال قد يحدث بحيث تذهب الكروموسومات المتجاورة (فى أى من الأشكال المميزة السابقة) إلى نفس القطب ، أو إلى أقطاب مختلفة . ولكن قد تتكون وحدتان ثنائيتا الكروموسوم إن لم تتكون كيازمتان بين أزواج الكروماتيدات ؛ وحينئذ .. يتحتم على كروموسومى كل وحدة ثنائية الكروموسوم أن يتوزعا على قطبين مختلفين فى الدور الانفصالى الأول .

وتجدر الإشارة إلى أن بعض الأنواع المعروفة الرباعية المجموعة الكروموسومية (مثل البطاطس والبرسيم الحجازى) تظهر بها أحياناً درجة من التقارن الاختيارى Selective Pairing . ويرجع ذلك إلى تراكم تغيرات طفيفة ، حدثت فى الكروموسومات منذ فترات زمنية بعيدة ، برغم أنها كانت فى الأصل تامة التماثل . ويعد التقارن الاختيارى فى مثل هذه النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية انحرافا نحو العودة إلى الحالة الثنائية diploidization .

الدور التزاوجى

الدور الضام

الدور الانفراجى

الدور التشتتى

الدور الاستوائى

وحدات ثنائية الكروموسوم سلاسل حلقات

شكل (١٤ – ٤) : أشكال الوحدات الرباعية الكروموسوم خلال الانقسام الميوزى الأول (يراجع المتن للتفاصيل) .

السلوك الوراثى

يختلف السلوك الوراثى للنباتات الذاتية التضاعف عن النباتات الثنائية ، بسبب احتمال وجود أكثر من أليلين لكل جين ، ولتكوين وحدات متعددة الكروموسوم. وحتى إذا وجد أليلان فقط للجين .. فإن عدد التراكيب الوراثية الممكنة فى نبات رباعى المجموعة الكروموسومية (وهى درجة منخفضة نسبيًا من التضاعف) يصبح خمسة مقارنة بثلاثة فقط فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية . ويطلق على التراكيب الوراثية الخمسة الممكنة فى حالة وجود أليلين ، أحدهما سائد (A) ، والآخر مُتنحٍ (a) الأسماء التالية :

التركيب الوراثى	الاسم
AAAA (سائد أصيل)	quadriplex
AAAa	triplex
AAaa	duplex
Aaaa	simplex
aaaa (متنحٍ أصيل)	nulliplex

يلاحظ أن نسبة الأليلات السائدة إلى المتنحية تختلف فى النباتات الـ triplex ، و الـ duplex ، و الـ simplex عن النسب المعهودة فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ، إلا أن الشكل الظاهرى للفرد الخليط يتوقف على درجة السيادة بين الأليلات ؛ ففى حالة السيادة التامة .. لايظهر سوى نوعين من الأشكال المظهرية ، بينما يظهر عدد أكبر من الأشكال المظهرية فى حالات السيادة غير التامة . ويصل عدد الأشكال المظهرية إلى خمسة عند غياب السيادة ، وفى حالات التأثير الإضافى للجين .

وتتوقف نسب التراكيب الوراثية التى يتوقع ظهورها فى النسل على كل من التركيب الوراثى لجيل الآباء ، وعلى مدى كون انعزال الجينات يحدث فى أثناء الانقسام الاختزالى على مستوى التوزيع الحر للكروموسومات ، أم للكروماتيدات . وسنفترض - للتبسيط - أن التركيب الوراثى للآباء simplex أى Aaaa ، ثم نستعرض النسب المتوقعة فى كل من حالتى التوزيع الحر .

١- التوزيع الحر للكروموسومات Random Chromosome Assortment :

يحدث التوزيع الحر للكروموسومات عندما تفشل الكروموسومات فى تكوين وحدة رباعية الكروموسوم ، أو عندما يكون الجين قريباً بدرجة كبيرة من موضع السنترومير ؛ فنجد أن كل كروموسوم يحمل فى أثناء الانقسام الاختزالى أليلين متشابهين على كروماتيدتيه ، ويذهب الأليلان - معًا - إلى أحد أقطاب الخلية فى أثناء الانقسام الاختزالى الأول ؛ لأنهما يكونان متصلين بنفس السنترومير ، ثم يتوزع الأليلان إلى أقطاب مختلفة فى الانقسام الاختزالى الثانى ؛ وعليه .. فلا يمكن أن يتواجد الأليلان - معًا - فى جاميطة واحدة بعد الانقسام (شكل ١٤-٥) . ولتوضيح ذلك .. نفترض أن الأليلات التى يحملها النبات الـ simplex (وهى أليل واحد سائد A ، وثلاثة متنحية a) تتضاعف عند تكوين الكروماتيدات (أثناء الانقسام الاختزالى) ؛ لتصبح A_1 ، و A_2) ، و (a_3 ، و a_4) ، و(a_5 ، و a_6) ، و (a_7 ، و a_8) ، علما بأن كل زوج منها (داخل قوسين) يمثل أليلين متماثلين على كروماتيدين متماثلتين لكروموسوم واحد .

ونظراً لأن كل زوج من الأليلات ينتهى به الأمر فى جاميطات مختلفة ؛ لذا .. فإن كلاً من A_1 ، و A_2 يكون له نفس الفرصة لأن ينعزل مع أى من a_3 ، أو a_4 ، أو a_5 ، أو a_6 ، أو a_7 ، أو a_8 ، ولكنهما - أى A_1 ، و A_2 - لايمكن أن يتواجدا معًا فى جاميطة واحدة .. وهكذا الأمر بالنسبة لأزواج الأليلات الأخرى . وتكون نتيجة ذلك أن تنعزل الجينات فى الجاميطات - على أساس التوزيع الحر للكروموسومات - كما هو مبين فى شكل (١٤-٦) . ويتبين من الشكل أنه يتكون نوعان من الجاميطات ، هما : Aa ، و aa بنسبة ١:١ . ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النبات الـ duplex (AAaa) ينتج ثلاثة أنواع من الجاميطات هى AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١ :٤ :١ ، وأن triplex (AAAa) ينتج نوعين من الجاميطات هما AA ، و Aa بنسبة ١:١ .

وتحسب نسب التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلى :

(أ) فى حالة الـ simplex :

		الجاميطات المذكرة	
		1Aa	1aa
الجاميطات المؤنثة	1Aa	1AAaa	1Aaaa
	1aa	1Aaaa	1aaaa

شكل (١٤ – ٥) : انعــزال الجـينـــات من وحـدة رباعـيـة الكرومــوســوم quadrivalent لنبـات simplex (Aaaa) . يعتمد الانعزال على التوزيع الحر للكروموسومات ، لوجود الجين قريبًا جدًا من السنترومير وانعدام العبور فى هذه المنطقة .

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1			A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3					a_3a_5	a_3a_6	a_3a_7	a_3a_8
a_4					a_4a_5	a_4a_6	a_4a_7	a_4a_8
a_5							a_5a_7	a_5a_8
a_6							a_6a_7	a_6a_8
a_7								
a_8								

شكل (١٤–٦) : تكوين الجاميطات فى نبات simplex فى حالة التوزيع الحر للكروموسومات .

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى : ١ AAaa : ٢ Aaaa : ١ aaaa ، وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٣ سائد : ١ متنحٍ

(ب) فى حالة الـ duplex :

		الجاميطات المذكرة		
		1AA	4Aa	1aa
الجاميطات المؤنثة	1AA	1AAAA	4AAAa	1AAaa
	4Aa	4AAAa	16AAaa	4Aaaa
	1aa	1AAaa	4Aaaa	1aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى : ١ AAAA : ٨ AAAa : ١٨ AAaa : ٨ Aaaa : ١ aaaa . وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٣٥ سائد : ١ متنحٍ .

(جـ) فى حالة triplex :

		الجاميطات المذكرة	
		1AA	1Aa
الجاميطات المؤنثة	1AA	1AAAA	1AAAa
	1Aa	1AAAa	1AAaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى . ١ AAAA : ٢ AAAa : ١ AAaa . وتكون جميع الأشكال المظهرية سائدة فى حالة السيادة التامة .

٢- التوزيع الحر للكروماتيدات Random Chromatid Assortment :

إذا تكونت وحدات رباعية الكروموسوم مع وجود الجينات بعيدة عن السنترومير بدرجة تسمح بحدوث عبور بين موقع الجين والسنترومير .. فإن ذلك يعطى فرصة متكافئة لأن يتواجد أى آليل مع أى آليل آخر ، بما فى ذلك أزواج الآليلات التى توجد على

وليس من الضرورى أن تكون الأفراد المتعددة المجموعة الكروموسومية – الشبيهة بالثنائية – خصبة دائماً ، كما لاترتبط قيمتها الزراعية بقيمة الأنواع النباتية الداخلة فى إنتاجها ؛ فقد يؤدى تهجين أنواع عديمة القمية معًا إلى الحصول على أنواع جديدة على درجة كبيرة من الأهمية . وقد حدث ذلك بالنسبة لكل من القمح والقطن ، والدخان ، وغيرها من المحاصيل الهامة التى نشأت – فى الطبيعة – من تهجينات بين أنواع لاشأن لها .

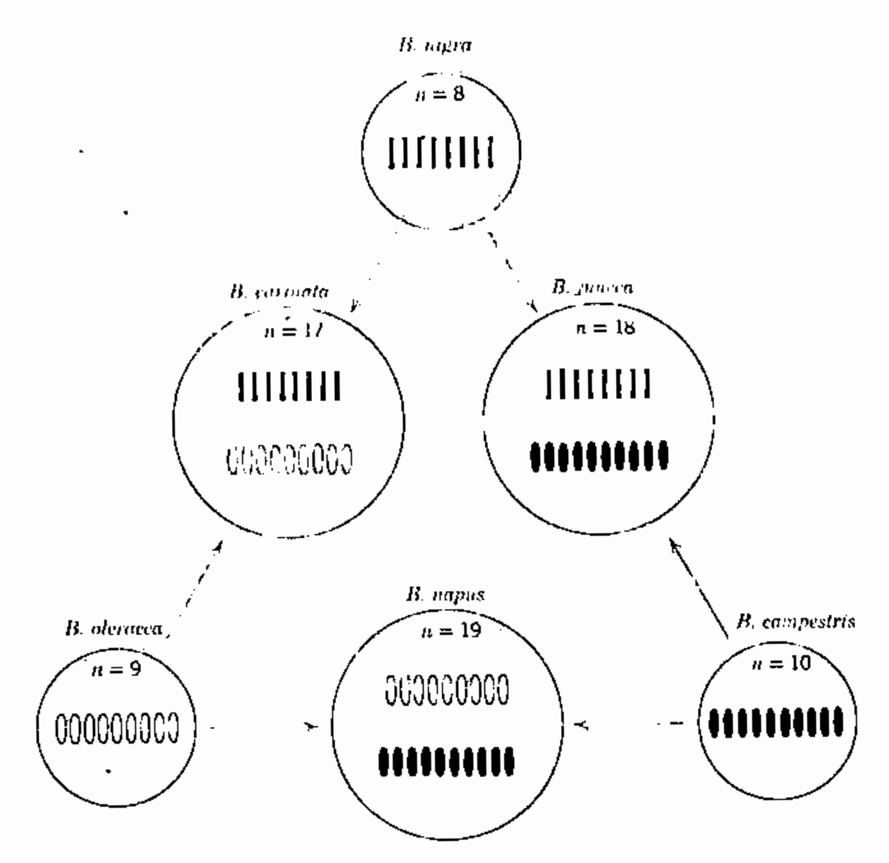
ينتشر التضاعف الهجينى فى الطبيعية بدرجة كبيرة ، ويعتبر القمح المثال التقليدى على ذلك . كما يوجد أيضا فى كل من القطن ، والشوفان ، وبنجر السكر ، والقصب ، والشليك ، والبرقوق الأوروبى . كذلك ينتشر التضاعف الهجينى فى العائلة الصليبية ، وقد اقترح U ، (وهو عالم يابانى) الطريقة المبينة فى شكل (١٤-٣) للكيفية التى نشأت بها الأنواع المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية فى الجنس *Brassica* والتى تعرف بمثلث U .

ومن أمثلة التضاعف الهجينى الصناعى الهجين *Raphanobrassica* الذى أنتجه Karpechenko بالتهجين بين الفجل (٢ن = ١٨) ، والكرنب (٢ن = ١٨) ، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول لتصبح بخلاياه الجسمية ٣٦ كروموسوماً ، تشتمل على المجموعة الكروموسومية الكاملة لكل من الفجل والكرنب . كما نشأ النوع *Primula kewensis* كطفرة متضاعفة للهجين النوعى : *P. verticillata* × *P. floribunda* ، الذى ظل عقيمًا لعدة سنوات ، إلى أن ظهرت هذه الطفرة على صورة فرع يحمل أزهاراً كثيرة خصبة بأحد النباتات ، ثم اتضح أن خلايا هذا الفرع يوجد بها ٣٦ كروموسوماً ، وهو العدد الكلى لكروموسومات الأبوين .

السلوك السيتولوجى والوراثى للنباتات الذاتية التضاعف

السلوك السيتولوجى

يتكون فى أثناء الانقسام الاختزالى فى النباتات الذاتية التضاعف Autoploids وحدات كروموسومية متعددة الكروموسوم multivalents ، بدلاً من الوحدات الثنائية الكروموسوم bivalents ، التى تتكون فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية ؛ فنجد



شكل (١٤ – ٣) : مـثلث U لبيان الكيفية للتى يحتمل أن تكون قد نشأت بها أنواع الجنس *Brassica* المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية amphidiploids (وهى التى بها ن = ١٧ ، أو ١٨ ، أو ١٩) من الأنـواع الثنائية diploids (وهـى التى بهـا ن = ٨ ، أو ٩ ، أو ١٠) . تشير الأسهم إلى الأنواع المتضاعفة هجينيًا التى نشأت من مختلف الأنواع الثنائية .

فى النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تتقارن فى وحدات ثلاثية الكروموسوم trivalents ، مع تكون بعض الوحدات الأحادية الكروموسوم univalents ، وبعض الوحدات الثنائية الكروموسوم . ونجد فى النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية أن معظم الكروموسومات تظهر أثناء الانقسام الاخترالى على شكل وحدات رباعية الكروموسوم quadrivalents ، أو ثنائية الكرموسوم ، مع تكون بعض الواحدات الأحادية والثلاثية الكروموسوم ... إلخ . ويكون التقارن بين الكروموسومات عشوائياً تماماً Randon Paring مادام التضاعف الكروموسومى من النوع الذاتى ، وكانت الكروموسومات متماثلة تماماً Homologus . هذا .. إلا أنه قد تظهر درجات

الكروماتيدات الشقيقة (شكل ١٤-٧) . وتتكون الجاميطات على النحو المبين فى شكل (١٤-٨) من كل نبات simplex (Aaaa) ، بفرض حدوث عبور بنسبة ٥٠٪ ، علماً بأن كل زوج من الأليلات (A_1 ، و A_2) ، و (a_3 ، و a_4)، و (a_5 ، و a_6) ، و (a_7 ، و a_8) - داخل قوسين - يمثل أليلين متماثلين على كروماتيدتين متماثلتين لكروموسوم واحد . ويتبين من الشكل أنه يتكون ثلاثة أنواع من الجاميطات هى AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١: ١٢ : ١٥ . ويمكن بتحليل مماثل إثبات أن النبات duplex (AAaa) ينتج الجاميطات AA ، وAa ، وaa بنسبة ٣: ٨ : ٣ ، وأن الـ triplex (AAAa) ينتج الجاميطات AA ، و Aa ، و aa بنسبة ١٥ : ١٢ : ١ .

وتحسب نسبة التراكيب الوراثية المتوقعة بعد ذلك كما يلى :

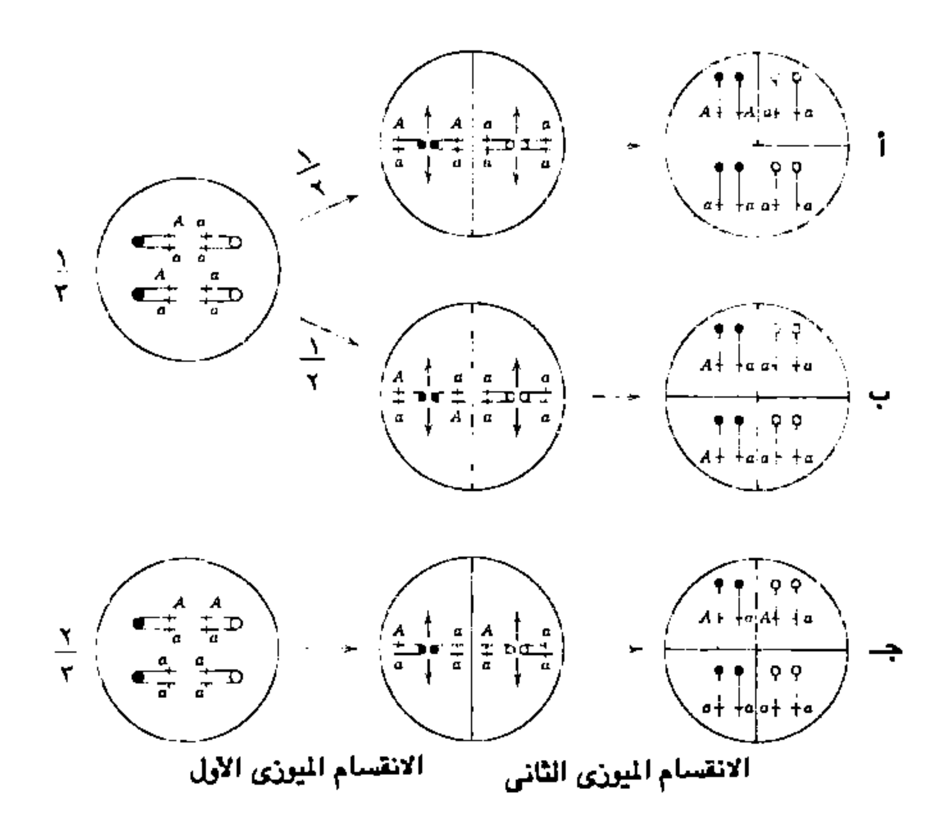
(أ) فى حالة الـ simplex :

		الجاميطات المذكرة		
		1AA	12Aa	15aa
الجاميطات المؤنثة	1AA	1AAAA	12AAAa	15AAaa
	12Aa	12AAAa	144AAaa	180Aaaa
	15aa	15AAaa	180Aaaa	225aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

qudriplex	AAAA	بنسبة ١
triplex	AAAa	بنسبة ٢٤
duplex	AAaa	بنسبة ١٧٤
simplex	Aaaa	بنسبة ٣٦٠
nulliplex	aaaa	بنسبة ٢٢٥

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٥٥٩ سائداً : ٢٢٥ متنحياً ، أو حوالى ٢,٤٨ : ١ .



شكل (١٤ – ٧) : تكوين الجاميطات من وحدة رباعية الكروموسوم لنبات Simplex (Aaaa) يحدث فيه عبور بين الكروسوم الحامل للأليل السائد وكروموسوم آخر . ينتج من هذا العبور كروموسومين Aa وآخرين aa ينعزل الكروموسومان Aa إلى نفس القطب فى الانقسام الاختزالى الأول فى ثلث الحالات (الانعزال العلوى) ، وإلى أقطاب مختلفة فى ثلثى الحالات (الانعزال السفلى) . وعندما ينتهى بهم الأمر فى القطب نفسه فى كل من الانقسامين الاختزاليين الأول والثانى (الحالة أ) .. فإن ذلك يعنى تكون جاميطات أصيلة . أما تكوين الجاميطات من الوحدات الرباعية الكروموسوم للنباتات الـ duplex فيكون أكثر تعقيداً ؛ بسبب كثرة التوافيق الممكنة .

	A_1	A_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
A_1		A_1A_2	A_1a_3	A_1a_4	A_1a_5	A_1a_6	A_1a_7	A_1a_8
A_2			A_2a_3	A_2a_4	A_2a_5	A_2a_6	A_2a_7	A_2a_8
a_3				a_3a_4	a_3a_5	a_3a_6	a_3a_7	a_3a_8
a_4					a_4a_5	a_4a_6	a_4a_7	a_4a_8
a_5						a_5a_6	a_5a_7	a_5a_8
a_6							a_6a_7	a_6a_8
a_7								a_7a_8
a_8								

شكل (١٤ – ٨) : التركيب الوراثى للجاميطات التى يكونها نبات Simplex (Aaaa) على أساس التوزيع الحر الكروماتيدات (يراجع المتن للتفاصيل) .

(ب) فى حالة الـ duplex :

		الجاميطات المذكرة		
		3AA	8Aa	3aa
الجاميطات المؤنثة	3AA	9AAAA	24AAAa	9AAaa
	8Aa	24AAAa	64AAaa	24Aaaa
	3aa	9AAaa	24Aaaa	9aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

qudriplex	AAAA	بنسبة ٩
triplex	AAAa	بنسبة ٤٨
duplex	AAaa	بنسبة ٨٢
simplex	Aaaa	بنسبة ٤٨
nulliplex	aaaa	بنسبة ٩

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ١٧٨ سائداً : ٩

متنحياً ، أو حوالى ٢١ : ١ .

(جـ) فى حالة الـ triplex :

الجاميطات المؤنثة	الجاميطات المذكرة 15AA	12Aa	1aa
15AA	225AAAA	180AAAa	15AAaa
12Aa	180AAAa	144AAaa	12Aaaa
1aa	15AAaa	12Aaaa	1aaaa

أى يتوقع أن تكون التراكيب الوراثية ونسبها كما يلى :

quadriplex	AAAA	بنسبة ٢٢٥
triplex	AAAa	بنسبة ٣٦٠
duplex	AAaa	بنسبة ١٧٤
simplex	Aaaa	بنسبة ٢٤
nulliplex	aaaa	بنسبة ١

وتكون الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالة السيادة التامة هى ٧٨٣ : ١ .

ويبين جدول (١٤-١) ملخصاً لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة فى حالات التزاوجات المختلفة لنباتات رباعية المجموعة الكروموسومية مع افتراض السيادة التامة (عن Allard ١٩٦٠) . ويتبين من الجدول استحالة تمييز النبات الـ qudriplex عن النبات الـ triplex على أساس اختبار النسل ؛ لأن جميع نباتات النسل تحمل الصفة السائدة فى كل منهما ، ولايفيد انعزال النباتات الـ triplex فى حالة التوزيع الحر للكروماتيدات إلى ٧٨٣ سائداً : ١ متنحٍ ؛ لأن نسبة النباتات المتنحية تكون منخفضة جداً إلى درجة يصعب معها ظهور واكتشاف هذه النباتات فى النسل .

وتجدر الإشارة إلى أن الانعزالات المبينة فى جدول (١٤-١) هى لحالتى التوزيع الحر للكروموسومات (حينما لاتتكون وحدات رباعية الكروموسوم نهائيًا ، أو حينما تكون الجينات قريبة جداً من السنترومير إلى درجة لايحدث معها عبور بين موقع الجين

جدول (١٤-١) : ملخص لانعزالات الأشكال المظهرية المتوقعة في حالات التزاوجات المختلفة لنبات رباعي المجموعة الكروموسومية ، مع افتراض السيادة التامة .

التـزاوج	انعزال الأشكال المظهرية (سائد : متنح) على أساس	
	التوزيع الحر للكروموسومات	التوزيع الحر للكروماتيدات
AAAA ذاتي	كلها سائدة	كلها سائدة
AAAa ذاتي	كلها سائدة	١ : ٧٨٣
AAaa ذاتي	١ : ٣٥	١ : ٢٠,٨
Aaaa ذاتي	١ : ٣	١: ٢,٥
aaaa ذاتي	كلها متنحية	كلها متنحية
AAaa × AAAa	كلها سائدة	١ : ١٢٠
Aaaa × AAAa	كلها سائدة	١: ٥١,٣
aaaa × AAAa	كلها سائدة	١ : ٢٧
Aaaa ×AAaa	١: ١١	١ · ٧,٧
aaaa × AAaa	١ : ٥	١ : ٣,٧
aaaa × Aaaa	١ : ١	١ : ٠,٨٧

والسنترومير) ، والتوزيع الحر للكروماتيدات (حينما تكون الجينات بعيدة عن السنترومير بقدر يسمح بحدوث عبور تام بين موقع الجين والسنترومير) ، إلا أنه يتعين - حتما - وجود حالات تتكون فيها وحدات رباعية الكروموسوم بنسب مختلفة ، أو لايكون فيها ارتباط الجين بالسنترومير كاملا ، وهى حالات يكون فيها الانعزال -دائماً- وسطاً بين الحالات السابقة .

السلوك السيتولوجى والوراثى للنباتات متعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية

السلوك السيتولوجى

سبق أن أوضحنا أن الهجن النوعية -التى تختلف آباؤها كثيراً عن بعضها-تكون على

درجة عالية من العقم ؛ لفشل كروموسومات الأبوين فى الاقتران مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى ؛ حيث تبقى على صورة وحدات أحادية الكروموسوم . أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا homeologus (كما فى حالات النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الخليطة جزئيًا (Segmental Alloploids) .. فإنها تتقارن فى المناطق المتماثلة ، وبذا .. تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم فى أثناء الانقسام الاختزالى ، وتكون النباتات خصبة نسبيًا .

وعلى خلاف ما سبق بيانه .. فإن الوضع يصبح معكوساً تماماً بالنسبة للنباتات المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids ؛ ففى هذه الحالة.. يحتوى الهجين النوعى على جميع كروموسومات الأبوين ؛ فإن لم يوجد أى تشابه بين كروموسومات الأبوين كان الهجين النوعى خصباً ؛ لأن أزواج الكروموسومات المتماثلة تتقارن مع بعضها فى أثناء الانقسام الاختزالى ، وتكون وحدات ثنائية الكروموسوم .

ويعرف التقارن الكروموسومى هذا بالتقارن التفاضلى الكامل Complete Preferential Pairing ، ويترتب عليه انعدام العبور بين كروموسومات الأبوين واستمرار احتفاظ الهجين بصفاته المميزة . أما إذا كانت كروموسومات الأبوين متماثلة جزئيًا .. فإنها تتقارن مع بعضهافى المناطق المتماثلة بطريقة غير منتظمة ؛ فتتكون وحدات رباعية الكروموسوم ،أو وحدات ثلاثية وأخرى أحادية الكروسوم ، كما قد تتكون وحدات ثنائية الكروموسوم ، وهو ما يعرف بالتقارن الاختيارى Selective Pairing . ويترتب على ذلك عدم وصول أجزاء متساوية من الكروماتين إلى الجاميطات ، وهو مايجعل الهجين على درجة عالية من العقم .

وتجدر الإشارة إلى أن درجة التماثل homology بين الكروموسومات مسألة نسبية ، وتتوقف على درجة القرابة بين النوعين المهجنين معًا . وحينما تكون الأباء من نوع نباتى واحد .. فإن التماثل الكروموسومى يكون تاماً ، ويكون التقارن عشوائياً تماماً فى الوحدات الرباعية الكروموسوم ؛ إلا أن مثل هذه الهجن (التى تحتوى على جميع كروموسومات الأبوين) لاتخرج عن كونها نباتات رباعية المجموعة الكروموسومية tetraploids ، ولاتعد من النباتات المتعددة المجموعة الكروموسومية الشبيهة بالثنائية Amphidiploids .

السلوك الوراثى

يكون جزء كبير من المادة الوراثية فى النباتات المتعددة المجموعات الكروموسومية الشبيهة بالثنائية مكرراً ، سواء أكانت كروموسومات الآباء مختلفة تماما (حالات الـ Alloploidy) ، أم مختلفة جزئيًا (حالات الـ Segmental Alloploidy) ، وتلك من الأمور التى يجب الانتباه إليها عند دراسة وراثة الصفات فى النباتات الهجينية التضاعف. أما عن الشكل المظهرى لهذه النباتات .. فإنه غالباً مايكون وسطاً بين الآباء ، وإن كان من غير الممكن التنبؤ بذلك مقدماً .

تعدد المجموعات الكروموسومية الخلطى كطريقة لمنشأ الأنواع

منشأ أنواع القمح

يعد القمح مثالاً كلاسيكيًا لنشأة الأنواع بطريقة تعدد المجموعات الكروموسومية الخلطى . وتقسم الأنواع التابعة لجنس القمح *Triticum* – عادة – إلى ثلاث مجاميع ، تبعًا لعدد كرموسومات الهيئة الكروموسومية ، الذى يكون دائماً إما سبعة وإما مضاعفات لهذا العدد كما يلى :

١– مجموعة إينكورن Einkorn :

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة ثنائية المجموعة الكروموسومية ، وفيها ن = ٧ ، ومن أمثلتها النوعان : *T . aegilopoides* ، و *T . monococcum* .

٢– مجموعة إيمر Emmer :

تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة رباعية المجموعات الكروموسومية ، وفيها ن = ١٤ ، ومن أمثلتها الأنواع *T . dicoccoides* ، و *T . dicoccum* ، و *T . durum* .

٣– مجموعة فولجير Vulgare أو سبلتا Spelta :

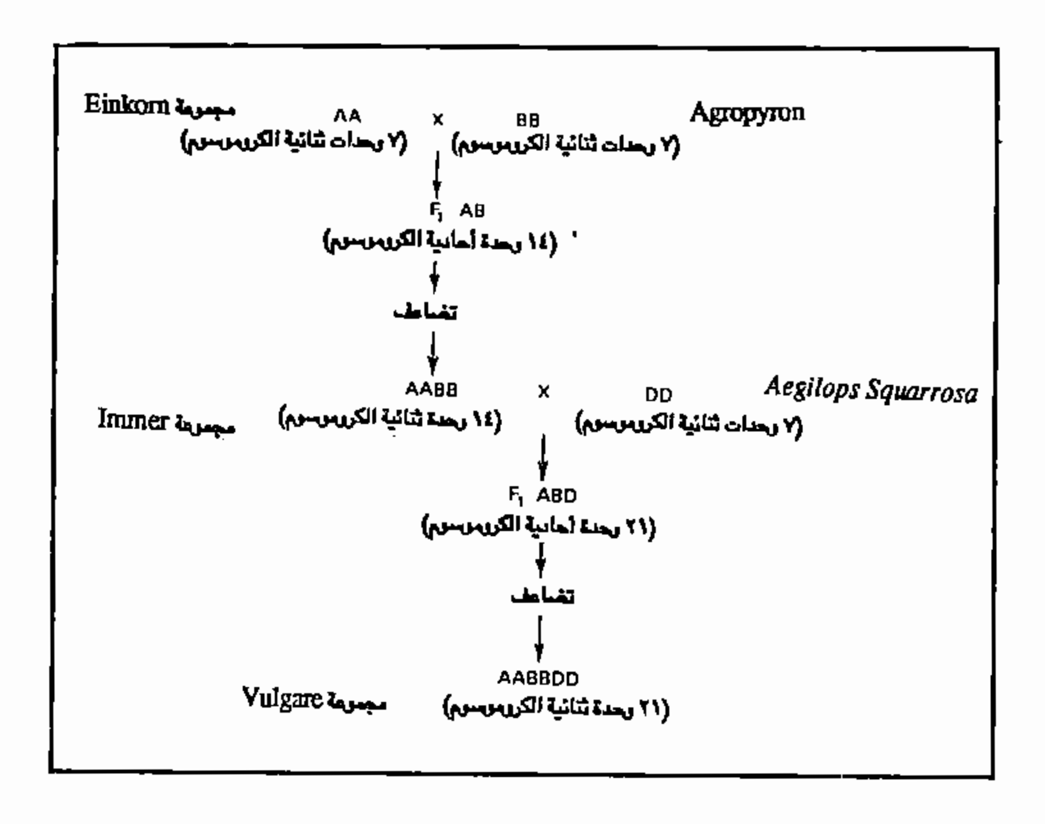
تعد الأنواع التى تنتمى إلى هذه المجموعة سداسية المجموعات الكروموسومية ، وفيها ن = ٢١ ، ومن أمثلتها الأنواع *T . spelta* ، و *T. vulgare* ، و *T . compactum* .

وقد تبين من الدراسات السيتولوجية أن الانقسام الميوزى فى هذه المجموعات منتظم للغاية ، وأن الكروموسومات تقترن دائماً على شكل وحدات ثنائية الكروموسوم ، وهو ما يدل على عدم وجود أى تشابه -ولوجزئى- بين الكروموسومات فى أى من هذه الأنواع ، باستثناء مايكون بين كروموسومى كل زوج منها . كما تبين أن الأقماح الرباعية تحتوى على هيئتين كروموسوميتين كاملتين متضاعفتين (أعطيتا الرمزين A ، و B) ، وأن كلاً منهما تتكون من سبعة كروموسومات غير متماثلة ؛ لذا .. فإن الأقماح الرباعية -وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية- تحتوى على ١٤ زوجاً من الكروموسومات ، ويتكون بها فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم . أما الأقماح السداسية .. فقد تبين أنها تحتوى على الهيئتين الكروموسومتين السابقتين A ، وB وهيئة كروموسومية ثالثة أعطيت الرمز D . وتتكون الهيئة D كذلك من سبعة كروموسومات ، تختلف عن أى من كروموسومات الهيئتين A ، و B . لذا .. فإن الأقماح السداسية - وهى هجن متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية - تحتوى على ٢١ زوجاً من الكروموسومات ، ويتكون بها أثناء الانقسام الاختزالى ٢١ وحدة ثنائية الكروموسوم .

وقد تبين من دراسات كل من Kihara ، و Sears ، و McFadden أنه توجد هيئة كروموسومية مشتركة بين جميع مجاميع القمح ، وهى التى أخذت الرمز A . ويعنى ذلك أن أنواع مجموعة الـ Einkorn تحتوى على الهيئة الكروموسومية A . أما الهيئة الكروموسومية الثانية التى أخذت الرمز B .. فيعتقد أنها أتت من حشيشة الأجروبيرون *Agropyron* ، وإن لم يكن ذلك متفقاً عليه ، بينما يوجد اتفاق بين العلماء على أن الأقماح السداسية قد حصلت على الهئية الكروموسومية الثالثة (التى أخذت الرمز D) من النوع *Aegilops squarrosa* (ن = ٧) كما هو مبين فى شكل (١٤-٩) .

منشأ محاصيل زراعية أخرى

نشأ عديد من المحاصيل الزراعية الأخرى عن طريق الهجن النوعية أو الجنسية التى ضوعفت كروموسوماتها ؛ لتصبح نباتات متعددة المجموعة الكروموسومية شبيهة بالثنائية Amphidiploids . وقد سبقت الإشارة إلى نشأة بعض أنواع الجنس *Brassicae* بهذه الكيفية . كما نشأ عديد من الأنواع المحصولية الأخرى بهذه الطريقة ، وكانت نشأة



شكل (١٤ - ٩) : تخطيط يبين نشأة الأنواع الرباعية (Immer) والسداسية (Vulgare) من القمح ، وأوجه القرابة بينها وبين الأنواع الثنائية (Einkorn) .

بعضها بصورة طبيعية ، بينما نشأ بعضها الآخر لدى تدخل الإنسان ، وإجراء التلقيحات ومضاعفة كروموسومات الجيل الأول الهجين بنفسه . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع الفصل الخامس عشر .

التربية بالتضاعف الذاتي

اهمية التربية بالتضاعف

أدى اكتشاف الكولشيسين Colchicine (مركب كيميائي يستخرج من أحد النباتات ، ويستعمل في مضاعفة أعداد الكروموسومات في النباتات) وسهولة استخدامه في مضاعفة

كروموسومات عديد من النباتات فى عام ١٩٣٧ إلى اتجاه العلماء نحو مضاعفة كروموسومات عدد كبير من الأنواع النباتية ؛ ظناً منهم أن ذلك كفيل بإحداث تقدم سريع فى تحسين المحاصيل الزراعية ، خاصة أن بعضاً من أهم النباتات الاقتصادية – مثل القمح ، والقطن ، والبطاطس – هى نباتات متضاعفة . كما ساعد على تقوية هذا الاتجاه على أن إحداث التضاعف صناعيًا كان مصاحباً – غالباً – بزيادة فى حجم الأعضاء النباتية ، وهو ما يتوقع معه الحصول على نباتات كبيرة الحجم غزيرة المحصول ، إلا أن فريقاً آخر من العلماء كان أقل تفاؤلا ؛ استناداً إلى أن الإنسان لايمكنه أن ينجز فى أعوام قليلة مالم يتحقق فى الطبيعة خلال آلاف السنين ، خاصة أن فرصة حدوث التضاعف –طبيعيًا– متوفرة دائماً بالنسبة لجميع الأنواع النباتية . وقد تبين أن هذا الفريق كان أكثر واقعية ؛ لأن معظم النباتات التى ضوعفت صناعيًا كانت ضعيفة النمو، وصغيرة الحجم ، وغير ثابتة وراثيًا ، وعقيمة بدرجة عالية .

هذا .. ولايمكن التنبؤ بمظهر النباتات المتضاعفة من مظهرها فى الحالة الثنائية ، ويتعين –دائماً– استمرار التجربة والخطأ ، ولكن تجدر الإشارة إلى أن مضاعفة النباتات الثنائية تعطى نتائج أفضل من مضاعفة النباتات المتضاعفة بالفعل . وعلى سبيل المثال .. وجد أن مضاعفة كروموسومات القمح والبطاطس – وهما من الأنواع المتضاعفة بطبيعتها – تحدث نقصاً فى قوة النمو وعقما فى كلا المحصولين . ويبدو أنه يوجد حد لدرجة التضاعف المثلى لكل نوع نباتى ، وقد بلغت معظم الأنواع هذه الحالة المثلى فى الطبيعة . هذا .. ولايمكن معرفة القيمة الحقيقية للنباتات المتضاعفة باختبارها تحت نفس الظروف البيئية التى تقيِّم فيها البناتات الثنائية ، بل تلزم دراستها فى ظروف بيئية متباينة .

ويمكن القول .. إن التضاعف لايستخدم فى إنتاج سلالات جديدة بغرض استعمالها كأصناف جديدة مباشرة ، وإنما لاستعمالها كسلالات تربية ، يمكن الاستفادة منها فى برامج التربية . فالتضاعف لايكون هو نهاية المطاف ، وإنما يكون غالباً بداية لبرنامج التربية ؛ فمثلاً .. يؤدى التهجين بين النباتات المتضاعفة ، ثم الانتخاب فى النسل إلى زيادة الخصوبة والجودة . كما تؤدى التربية الداخلية فى النباتات المتضاعفة إلى إنتاج نباتات أصيلة فى صفات مرغوبة . وتجدر الإشارة فى هذا الخصوص إلى أن حالة عدم

التماثل الوراثى heterozygosity ، تقل بمقدار النصف كل ٢,٨ جيلاً من التربية الداخلية فى النباتات الرباعية المجموعة الكروموسومية ، مقارنة بكل جيل فى النباتات الثنائية .

تأثير التضاعف فى النباتات

يختلف تأثير التضاعف باختلاف الأنواع النباتية ، وباختلاف الأصناف داخل النوع الواحد . وفيما يلى أهم تأثيرات التضاعف على النباتات .

١- زيادة حجم الخلايا ، وقد لوحظ ذلك خاصة فى الأنسجة الإنشائية ، والخلايا الحارسة للثغور، وحبوب اللقاح . إلا أن الزيادة فى حجم الخلايا لايصاحبها- بالضرورة - زيادة فى حجم النبات .

٢- تتأثر نسب مكونات الخلية ؛ فتتغير نسبة الماء ، والبروتين ، والكلوروفيل ، والسيليلوز ، والأوكسينات ، والفيتامينات .. إلخ ؛ فمثلاً .. يزيد نشاط فيتامين «أ» فى الذرة الرباعية بمقدار ٤٠٪ عما فى الذرة الثنائية ، ويزيد محتوى كثير من الخضر والفواكه الرباعية من حامض الأسكوربيك (فيتامين جـ) عما فى نظائرها الثنائية ، ويزيد محتوى النيكوتين فى الدخان الرباعى بمقدار ١٨-٣٣٪ عما فى الثنائى .

٣- تصبح الأوراق أقصر ، وأعرض ، وأسمك ، ويصبح النبات أقوى نمواً ، ولكن توجد حالات كثيرة يكون فيها النبات المتضاعف أضعف وأقل نمواً .

٤- يزيد حجم بعض الأعضاء النباتية مثل السبلات ، والبتلات ، والبذور ، والثمار ، ويطلق على تغيرات كهذه اسم عملقة gigatism .

٥- بطء النمو ، وتأخر الإزهار مع استمراره فترة أطول .

٦- تكون النباتات المتضاعفة على درجة من العقم تتراوح من نسبة ضئيلة إلى عقم تام . وقد عزى ذلك فى كثير من الأحيان إلى حدوث اضطرابات كروموسومية خلال الانقسام الاختزالى ، إلا أن أغلب حالات العقم ترجع - فى النباتات المتضاعفة - إلى حالة عدم التوازن الجينى genic imbalance التى تحدث بعد مضاعفة عدد الكروموسومات .

٧- قد تختلف الاحتياجات البيئية للنباتات الرباعية عن الثنائية ؛ فمثلا .. تحد حالة التضاعف من احتياجات الفترة الضوئية فى الشيلم ، وتحتاج بذور البطيخ الثلاثى إلى

درجات حرارة أعلى للإنبات .

٨- يؤدى التضاعف إلى إضعاف حالة عدم التوافق الجاميطى .

مجالات استخدام التضاعف الذاتى الصناعى فى تربية النباتات

كان من أهم المجالات التى استخدم فيها التضاعف الذاتى لتحسين النباتات ما يلى :

١- تحسين النباتات التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية :

تعد النباتات التى تزرع لأجل أجزائها الخضرية أكثر النباتات استجابة للتربية بالتضاعف ؛ فمثلا .. وجد فى بنجر السكر أن جذور النباتات الثلاثية المجموعة الكروموسومية أكبرحجما من جذور النباتات الثنائية ، مع تساوى نسبة السكر فى كليهما؛ ويترتب على ذلك زيادة كمية السكر التى يمكن إنتاجها من وحدة المساحة .

وتعد العقبة الرئيسية أمام الاستفادة من هذه الحقيقة فى الإنتاج التجارى هى كيفية إنتاج البذور الثلاثية ؛ إذ تطلب ذلك زراعة سلالات ثنائية وأخرى رباعية فى خطوط متبادلة ؛ لكى تُلقَّح فيما بينها . ولكن السلالات الثنائية -وهى التى تعطى محصولاً عاليًا من البذور - لاتنتج سوى نسبة منخفضة من البذور الثلاثية ، بينما السلالات الرباعية - وهى التى تعطى نسبة عالية من البذور الثلاثية- يكون إنتاجها من البذور منخفضاً للغاية .

هذا .. ويتوقع - كذلك - استجابة محاصيل المراعى ، والزهور ، ونباتات الزينة للتضاعف الذاتى ؛ لأنها لاتزرع لأجل ثمارها أو بذورها ، كما أن الزهور العقيمة تحتفظ بنضارتها فترة أطول ، وقد يعد أى تغير فى الشكل المظهرى لنباتات الزينة عند مضاعفتها أمراً مرغوباً فى حد ذاته .

٢- تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها :

لم يكن للتربية بالتضاعف دور مهم فى تحسين النباتات التى تزرع لأجل بذورها ؛ بسبب العقم الذى يصاحب التضاعف ، ويستثنى من ذلك محصول الشيلم ؛ فقد وجد أن الشيلم للرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨) يتميز بكبر الحبة ، وارتفاع نسبة البروتين بها ، وقدرته على النمو فى ظروف بيئية متباينة ، بينما يتساوى فى المحصول مع الشيلم

الثنائـــى . هذا .. إلا أنه يعيبه قلة عدد الخلفات ، وارتفاع طول النبات ، كما اعترضت المطاحن على حبوبه الكبيرة الحجم .

٣- تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها :

أفاد التضاعف الذاتى فى تحسين المحاصيل التى تزرع لأجل ثمارها ؛ لسببين هما :

(أ) وجد أن ثمار بعض الفواكه الرباعية المجموعة الكروموسومية كبيرة الحجم مقارنة بالطرز الثنائية ، كما فى العنب الذى تتميز أصنافه الرباعية بأن حباتها أكبر حجما ، وبذورها أقل عدداً ، ولكن يعيبها عدم امتلاء العناقيد ، وقلة المحصول .

(ب) تميزت الطرز الثلاثية المجموعة الكروموسومية بخاصية العقد البكرى ؛ أى بقدرتها على إنتاج ثمار خالية من البذور . ويعد البطيخ اللابذرى من أهم الأمثلة على ذلك وهو الذى تنتج بذوره الثلاثية (التى تعطى ثماراً خالية من البذور) ؛ بتهجين سلالات رباعية التضاعف - تستخدم كأمهات - مع سلالات ثنائية التضاعف - تستخدم كآباء - علماً بأن التلقيح العكسى لاينجح .

وتكون ثمار البطيخ الثلاثى خالية من البذور ؛ لأن الغالبية العظمى من الجاميطات التى تنتجها هذه النباتات (٢ن = ٣س = ٣٣) تكون عقيمة ، ولايكون خصباً منها إلا ما تحتوى على ١١ ، أو ٢٢ كروموسوماً ، وهى تتكون (أى البيضات الخصبة) بنسبة $(\frac{١}{٢})^{١١}$ × ٢ × ١٠٠ أى $(\frac{١}{٢})^{١٠}$ × ١٠٠ أى أقل من ٠,٠٥٪ ، بينما تزيد نسبة الجاميطات العقيمة (وهى التى تحتوى على ١٢-٢١ كروموسوماً) عن ٩٩,٩٥٪ ؛ لذا .. فإن الثمار العاقدة تكون خالية -تقريباً- من البذور . هذا .. إلا أنه تظهر بثمار البطيخ الثلاثى تكوينات صغيرة بيضاء تشبه بذور الخيار ، كما تبدو بها - أحياناً - بذور خالية من الأجنة تكون قشرتها صلبة وحجمها طبيعياً ؛ ويعد ذلك من أكبر عيوب البطيخ الثلاثى .

يحتاج عقد ثمار البطيخ الثلاثى إلى توفر حبوب اللقاح من سلالة ثنائية ؛ لذا .. تجب زراعة خط من سلالة ثنائية بين كل خمسة خطوط من السلالة الثلاثية . تعمل حبوب لقاح السلالة الثنائية كمنبهات فقط لنمو مبايض أزهار السلالة الثلاثية التى تكون بيضاتها عقيمة بنسبة تزيد على ٩٩,٩٥٪ .

وينتج فى اليابان عدد كبير من أصناف البطيخ الثلاثية ؛ ومن أهم عيوبها ارتفاع ثمن

التقاوى ؛ لكثرة اليد العاملة اللازمة لإنتاج الهجن ، وصعوبة إكثار السلالات الرباعية التضاعف ، وظهور أشكال غير طبيعية من الثمار الثلاثية ، مع ميلها إلى التفريغ ، وظهور بذور صلبة فارغة بها .

٤- يستفاد من التضاعف فى إنتاج سلالات أصيلة ثنائية (٢ن) من النباتات الأحادية.

٥- كما يلجأ المربى إلى مضاعفة عدد الكروموسومات فى كثير من الهجن النوعية للتغلب على مشاكل العقم .

طرق إحداث التضاعف الذاتى فى النباتات

أمكن إنتاج نباتات متضاعفة من الذرة ؛ بتعرضها لدرجات حرارة مرتفعة ، كما عرف فى الذرة - أيضًا - جين يجعل النبات قادراً على إنتاج جاميطات متضاعفة ، وهو الجين as (asynaptic) الذى يمنع التقارن الكروموسومى فى أثناء الانقسام الاخترالى . هذا .. إلا أن مضاعفة الكروموسومات تجرى - عادة - بإحدى طريقتين ، هما :

١- إنتاج نباتات متضاعفة من نسيج الكالوس Callus Tissue :

يلزم لإنتاج نباتات متضاعفة بهذه الطريقة قطع فرع نباتى ، ثم معاملة السطح المقطوع بمنظم النمو إندول حامض الخليك (IAA) فى اللانولين . وتؤدى هذه المعاملة فى بعض النباتات إلى تكون كتلة من نسيج الكالوس على السطح المقطوع ، قد تنمو منها أفرع جديدة . تكون بعض هذه الأفرع رباعية التضاعف . وتنتج - لدى إكثارها خضريًا - نباتات كاملة رباعية . وقد اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى الطماطم والدخان .

٢- إنتاج نباتات متضاعفة بالمعاملة بالمركبات الكيميائية :

استخدم عديد من المركبات الكيميائية فى مضاعفة كروموسومات الأنواع النباتية ، وكان من أمثلتها الإيثر ، والكلوروفورم ، وأكسيد النتروز nitrous oxide ، وكلورال هيدريت Chloral hydrate ، واسينافثين acenapthene ، وإيثيل كلوريد الزئبق ethyl - mercury - chloride . إلا أن أكثر المركبات استعمالاً وأهمها فى مضاعفة الكروموسومات كان الكولشيسين colchicine ، وهو ما سنتناوله بشئ من التفصيل . وقد أعقب اكتشافه - وهو مركب طبيعى - تخليق طرز أخرى صناعية منه ؛ مثل الكولشيم

Colchium ، والكالسيميد Calcemid .

الكولشيسين واستعمالاته فى مضاعفة الكروموسومات

كان الكولشيسين هو المركب الرئيسى المستخدم فى إحداث التضاعف الكروموسومى فى النباتات منذ أكثر من أربعين عاماً ولايزال كذلك ، وهو يستخرج من نبات *Cochium autumnale* الذى يحتوى على المركب بنسبة ٠,٤٪ من وزنه الجاف . ونتناول – فيما يلى – دراسة الكولشيسين من الجوانب التالية :

١– كيفية إحداث الكولشيسين للتضاعف :

يُحدث الكولشيسين تأثيره بمنع تكوين خيوط المغزل فى أثناء انقسام الخلية ، وهو مايمنع هجرة الكروموسومات إلى قطبى الخلية . ويؤدى ذلك إلى تكوين نواة جديدة تحتوى على ضعف العدد الأصلى من الكروموسومات . ونظراً لأن عدد الكروموسومات يستمر فى التضاعف مع كل انقسام جديد مادام تأثير الكولشيسين باقياً ؛ لذا .. فإن المعاملة بالمركب يجب أن تتوقف بعد انقضاء الفترة اللازمة لإحداث التضاعف المطلوب . هذا .. علماً بأن الخلايا الرباعية التضاعف –وأحياناً الثمانية التضاعف– هى التى يمكن أن تستمر فى الانقسام والنمو .

٢– طرق إضافة الكولشيسين للأنسجة النباتية :

يضاف الكولشيسين للأنسجة النباتية فى إحدى الصور التالية :

(أ) محلول مائى : يتراوح تركيز المحلول المائى عادة من ٠,٠٥٪ – ٠,٤٪ .

(ب) محمَّل فى الجلسرين : يستعمل لذلك ٧,٥ مل جلسريناً ، و ٢,٥ مل ماءً ، و ٦–٨ نقاط من المادة المبللة سانتوميرز santomerse ، ثم يضاف الكولشيسين بالتركيز المطلوب .

(جـ) محمل فى الآجار : يضاف الكولشيسين إلى الآجار الساخن قبل تصلبه .

(د) محمل فى مستحلب اللانولين : يحضر مستحلب اللانولين بإضافة ٢٠ مل ماء إلى ١,٥ جم حامض استياريك stearic acid ، ٠,٥٢ مل مورفولين morpholine مع التسخين إلى أن يتم ذوبان حامض الاستياريك ، على ألا ترتفع درجة حرارة المخلوط عن

١٠٠م . يحرك المخلوط بساق زجاجية ، إلى أن يأخذ مظهر الصابون فى اللون والقوام ، ثم يضاف إليه ٨ جم لانولين lanolin مع استمرار التسخين والتقليب ، إلى أن يذوب اللانولين ؛ وحتى يصبح قوام المستحلب سميكاً نسبيًا ، ثم يترك ليبرد ، ويضاف إليه الكولشيسين بالتركيز المطلوب .

٣- طرق المعاملة بالكولشيسين :

تجرى المعاملة بالكولشيسين بإحدى الطرق التالية :

أ- معاملة البذور :

تنقع البذور التى يُراد معاملتها فى محلول مائى من الكولشيسين بتركيز ٠,٠٠٥٪ - ١,٥٪ لمدة ١-٦ أيام ، علماً بأن البذور البطيئة الإنبات تحتاج إلى مدة أطول . ويجب أن تنتهى المعاملة قبل أن تباشر البذور بالإنبات . وتغسل البذور جيداً بعد المعاملة .

ب- معاملة البادرات :

تعامل القمم النامية للبادرات الصغيرة بنجاح أكبر من معاملة البذور ، وتستمر المعاملة لمدة ٣-٢٤ ساعة . يراعى عدم وصول الكولشيسين إلى جذور البادرات نظراً لحساسيتها الشديدة له . وتجرى المعاملة بإحدى طريقتين كما يلى :

(١) إذا استنبتت البذور على ورق ترشيح فى أطباق بترى ، وكانت جذور البادرات تتخلل ورق الترشيح بشكل جيد .. فإن المعاملة تجرى بقلب أطباق بترى بما عليها من بادرات ، حتى تنغمس القمم النامية للنباتات فى محلول مائى من الكولشيسين .

(٢) بلف جذور مجموعة من البادرات بقطن مبلل بالماء ، ثم قلبها فى كأس به محلول مائى من الكولشيسين بنفس الطريقة السابقة ، وتفضل هذه الطريقة : لأن الجذور تبقى رطبة ولاتتعرض للجفاف . هذا .. وتغسل البادرات بالماء بعد انتهاء المعاملة .

جـ - معاملة النباتات الكبيرة :

تعامل الفروع الصغيرة ، والبراعم الإبطية ، والقمم النامية للسيقان الكبيرة بإحدى

الطرق التالية :

(١) غمر القمة النامية فى محلول مائى من الكولشيسين .

(٢) وضع قطعة قطن مبللة بمحلول الكولشيسين بين أوراق البرعم النامى ، مع تكرار المعاملة يوميًا لمدة ٢-٦ أيام .

(٣) رش البراعم بمحلول الكولشيسين عدة مرات يوميًا . أو قد يضاف إلى البرعم الإبطى نقطة واحدة من محلول مائى من الكولشيسين بتركيز ٠.٥٪ ، يضاف إليه زيت معدنى بنسبة ١٪ .

(٤) إضافة الكولشيسين محملاً فى الجلسرين بواسطة فرشاة .

(٥) دهان القمة النامية بالكولشيسين فى مستحلب من اللانولين .

(٦) معاملة القمة النامية بالكولشيسين المحمل فى الأجار ، مع إضافته إما بفرشاة ، وإما فى نصف كبسولة توضع منكسة على البرعم .

هذا .. ويراعى عند استعمال الكولشيسين أنه مركب شديد السمية ؛ فلايجب أن يلامس الجلد فترة طويلة ؛ كما أنه مرتفع الثمن ، ويتلف من التخزين الطويل ؛ لذا .. يجب ألا تحضر منه إلا الكمية اللازمة فقط حسب الحاجة . وتذاب الكمية المطلوبة من الكولشيسين فى قطرات من الكحول ، ثم يضاف الماء ببطء لأن سرعة إضافته تجعل الكولشيسين يترسب من المحلول ثانية . ويمكن تخزين محلول الكولشيسين فى الثلاجة لأسابيع قليلة ، ولكنه لا يخزن مجمداً (Avery وآخرون ١٩٤٧ ، Egisti & Dustin ١٩٥٥ ، Hayes وآخرون ١٩٥٥ ، North ١٩٧٩) . ولمزيد من التفاصيل عن الكولشيسين واستعمالاته .. يراجع Egisti & Dustin (١٩٥٥) .

أعداد الكروموسومات فى النباتات

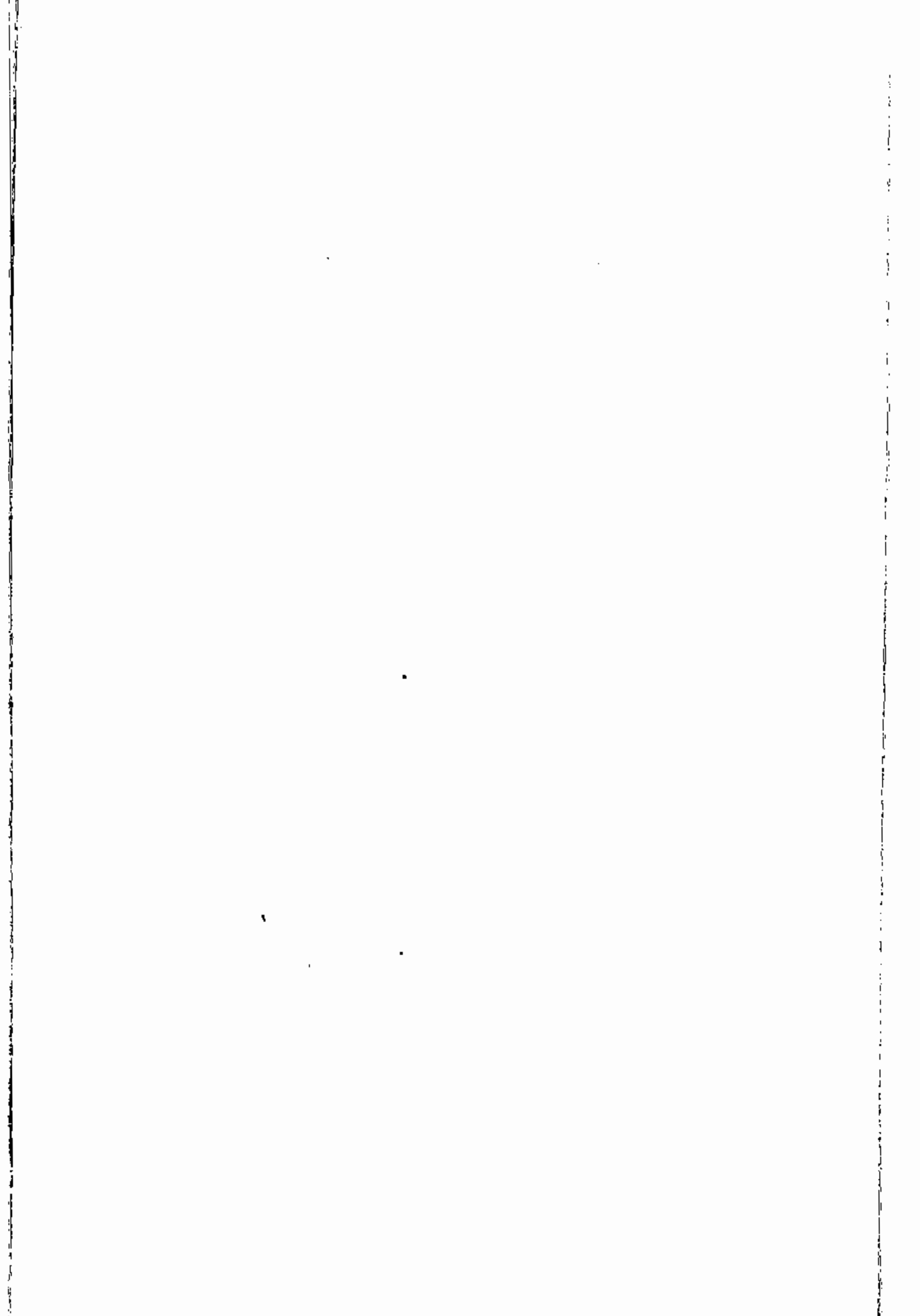
تظهر فى جدول (١٤-٢) قائمة بأعداد الكروموسومات فى الخلايا الجسمية (٢ن) ، وفى الهيئة الكروموسومية الواحدة (x) لبعض المحاصيل الاقتصادية . أما أعداد الكروموسومات فى بقية النباتات .. فيمكن الرجوع إليها فى كل من Hayes وآخرين (١٩٥٥) ، و Purseglove (١٩٧٢ ، و ١٩٧٤) ، Simmonds(١٩٧٩) .

جدول (١٤-٢) : أعداد الكروموسومات فى بعض المحاصيل الاقتصادية (عن Elliott ١٩٥٥ ، و Darrow ١٩٦٦ و Edmond وآخرين ١٩٧٥ ، و Welsh ١٩٨١ ، و Hawkes ١٩٨٣) .

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
المحاصيل الحقلية :		
	١٠	٢٠
الذرة	٨	٣٢
البرسيم الحجازى	١٠	٤٠
الفول السودانى	١٢	٤٨
الدخان المزروع	١٣	٢٦
القطن الأسيوى	١٣	٥٢
القطن upland	٧	٤٢
الشوفان المزروع		٨٠
القصب	٧	١٤
الشعير	٧	٤٢
قمح الخبز (السداسى)	٧	٢٨
القمح durum (الرباعى)		
الفاكهة :		
التفاح	١٧	٣٤ ، ٥١
جنس ذوات النواة الحجرية *Prunus*	٨	١٦ ، ٢٤ ، ٣٢ ، ٤٨
الموالح	٩	١٨ ، ٢٧ ، ٣٦
العنب	١٩	٣٨ ، ٤٠ ، ٧٦
الموز	١١	٢٢ ، ٣٣ للنوع المزروع ، ٤٤
اللوز	٨	١٦
الكريز الحامضى	٨	٣٢
الكريز الحلو	٨	١٦
الكمثرى	١٧	٣٤ ، ٥١

جدول (١٤-٢) : يتبع

المحصول	العدد الأساسى (س)	العدد فى الخلايا الجسمية (٢ن)
الخضــر :		
جنس الشليك *Fragaria*	٧	١٤ ، ٢١ ، ٢٨ ، ٣٥ ، ٤٢ ، ٤٩ ، ٥٦ للنوع المزروع ، ٦٣ ، ٧٠ حـتى ٢ن = ١٦س
جنس البطاطس *Solanum*	١٢	٢٤ ، ٣٦ ، ٤٨ للنوع المزروع ، ٦٠ ، ٧٢ ، ٩٦
البطاطــا	١٥	٩٠
جنس الطماطم *Lycopersicon*	١٢	٢٤
جنس الكرنبيات *Brassica*	٩ ، ١٠	١٨ ، ٣٦ ، ٢٠ ، ٥٦
الكاسافا (٤س)		
القلقاس (٢س ، ٣س)		
الزهور ونباتات الزينة :		
الـــورد	٧	١٤ ، ٢٨ ، ٣٥ ، ٤٢ ، ٥٦
الأقحوان	٩	١٨ ، ٣٦ ، ٥٤ ، ٧٢ ، ٩٠
الزنبق	١٢	٢٤ ، ٣٦ ، ٤٨
الداليا	٨	٣٢ ، ٦٤
بسلة الزهور	٧	١٤
نباتات المشروبات :		
القهوة (٢س ، ٤س)		
الشاى (٢س)		
الكاكاو (٢س)		



الفصل الخامس عشر

الهجن النوعية

يلجأ المربى إلى التهجين بين أنواع نباتية مختلفة Inrerspecific Hybridization ، عندما يتعذر عليه العثور على الصفات المرغوب فيها داخل النوع الذى ينتمى إليه المحصول الذى يقوم بتحسينه . وقد يكون التهجين مع نوع نباتى آخر من نفس الجنس ، أو من جنس آخر من نفس العائلة . ويستعان بمثل هذه الهجن النوعية لنقل جين واحد ، أو مجموعة من الجينات المرغوب فيها من نوع إلى آخر ، أو للتوصل إلى صفات جديدة ليست موجودة فى أى من النوعين منفرداً . كما تجرى الهجن النوعية فى كثير من الأحيان ، لمجرد تجربة مايمكن أن تسفر عنه هذه الهجن .

وبرغم وجود أمثلة عديدة لهجن نوعية ناجحة .. إلا أنه توجد حالات يستحيل فيها إجراء الهجن النوعية ، وقد يمكن إنتاج الهجين النوعى (الجيل الأول) ولكنه يكون عقيماً ، أو قد يبدأ التدهور والعقم فى الجيل الثانى . وقد توصل مربو النبات إلى طرق فعالة ؛ للتغلب على كثير من مشاكل إنتاج الهجن النوعية فى حالات خاصة .

وغنى عن البيان أنه لايمكن دراسة الهجن النوعية Interspecific Hybrids بمعزل عن التضاعف الهجينى Alloploidy الذى سبقت دراسته فى الفصل الرابع عشر ؛ وذلك لأن التضاعف الهجينى يستلزم حدوث هجن نوعية ابتداء . كما أن كثيراً من أمثلة الهجن

النوعية الناجحة التى يأتى بيانها فى هذا الفصل هى لأنواع (هجن نوعية) متعددة المجموعة الكروموسومية شبيهة بالثنائية Amphidiploids .

إن معظم الهجن النوعية التى يجريها مربى النبات تكون بين المحاصيل الزراعية وأنواع أخرى برية قريبة منها ؛ بغرض الحصول على جينات مرغوب فيها من الأخيرة . ومن الطبيعى أن يتلقى الجيل الأول الهجين نصف جيناته من الأب البرى ؛ لذا .. فإنه لايصلح للزراعة التجارية . ويتطلب الأمر إجراء عديد من التلقيحات الرجعية إلى النوع المحصولى ، مع محاولات لكسر الارتباطات غير المرغوب فيها - إن وجدت - ليمكن إنتاج سلالة تربية من النوع المحصولى تحتوى على الجين المرغوب فيه من النوع البرى لاستخدامها - بعد ذلك - فى برامج التربية لتحسين المحصول بالطرق الأخرى . ويعرف برنامج التربية الذى يتمخض عنه سلالات كهذه باسم التربية السابقة pre - breeding ، أو تربية سلالات الآباء parent - line breeding .

هذا .. إلا أن الانواع المحصولية والأنواع البرية ربما لاتختلف كثيراً - وراثياً - عن بعضها ، بسبب مايكون قد حدث بينها من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة . وبرغم أن الهجن النوعية لاتكون صعبة فى حالات كهذه ، إلا أنها لاتكون ضرورية أيضاً ؛ نظراً لأن الجينات المرغوب فيها غالباً ماتكون قد انتقلت - بالفعل - من النوع البرى إلى النوع المحصولى فيما يعرف باسم Introgerssion .

الصعوبات التى تعوق نجاح الهجن النوعية

يقسم Hawkes (١٩٨٣) الصعوبات التى تواجه المربى عند إجراء الهجن النوعية إلى خمسة مستويات تتدرج بالزيادة فى صعوبتها كما يلى :

المستوى الأول : أقلها صعوبة ؛ وفيه يكون النوع المحصولى والنوع البرى متقاربين من بعضيهما وراثياً ؛ أى يكونان من مجمع جينى gene pool واحد ، ؛ بسبب مايكون قد حدث بينهما من تبادل جينى فى الطبيعة فى أزمنة سابقة ، ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى :

L . esculentum × L . pimpinellifolium

المستوى الثانى : وفيه ينتمى النوع المحصولى والنوع البرى إلى مجمعات جينية مختلفة ، إلا أن التهجين يكون ممكناً ، ويكون الجيل الأول الهجين خصباً بدرجة عالية ؛ حيث يحدث التقارن الكروموسومى بين كروموسومات النوعين فى أثناء الانقسام الاختزالى . ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية :

Oryza sativa × *O . nivara*

Lyscoersicon esculentum × *L . cheesmanii*

المستوى الثالث : أكثر صعوبة ، وفيه يختلف النوع المحصولى عن النوع البرى فى عدد الكروموسومات إلا أن الجيل الأول الهجين يمكن جعله خصباً ؛ بمضاعفة كروموسومات هذا الجيل (amphidiploidy) . ومن أمثلة ذلك الهجين النوعى

Brassica Oleracea × *B . rapa*

الذى يعطى النوع *B . napus*

المستوى الرابع : يتطلب نجاح التلقيح إجراء معاملات خاصة مثل زراعة الأجنة فى بيئات خاصة وهى ما زالت فى بدايات تكوينها ، ومن أمثلة ذلك الهجن النوعية التالية :

Solanum acaule × *S . bulbocastanum*

Lycopersicon esculentum × *L . peruvianum*

المستوى الخامس : تلقحيات بعيدة جدا وصعبة ، وهى التى تكون بين أنواع تنتمى إلى أجناس مختلفة ؛ كالتلقيح بين الطماطم *Lycoperscan esculentum* ، والبطاطس *Solanum tuberosum* . وقد أمكن التغلب على مصاعب التهجين ، فى حالات كثيرة كهذه بطريقة اندماج البروتوبلازم protoplasm fusion فى مزارع البروتوبلازم ، إلا أنه نادراً ما أمكن دفع هذه الهجن للنمو إلى مرحلة النضج . ويعد محصول التريتيكيل *Triricale*– وهو هجين بين القمح *Triticum* ، والشيلم *Secale* حالة شاذة ؛ نظراً لأن التهجين يجرى بسهولة تامة ، وقد وجد عدة مرات فى الطبيعة .

ويمكن الاطلاع على التفاصيل الخاصة بمزارع الأجنة ومزارع البروتوبلازم فى

الفصلين السابع عشر والثامن عشر .

ومن أهم أسباب فشل الهجن النوعية ما يلى (عن Allard ١٩٦٤) :

١- وجود عوائق أمام نمو حبة اللقاح :

فمثلا .. قد يكون قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأم أطول من قلم الزهرة فى النوع المستخدم كأب ، وهو ما يعنى أن على حبوب اللقاح أن تنمو - فى مثل هذه الحالات - لمسافة أطول مما تكون عليه الحال فى الظروف الطبيعية . وقد يلجأ المربى إلى مضاعفة كروموسومات أحد الأبوين ؛ لزيادة فرصة نجاح التهجين ، إلاّ أن ذلك قد يؤدى إلى نتائج عكسية ، إذا كان النوع المتضاعف هو المستخدم كأب ، لأن حبوب اللقاح تكون ثنائية المجموعة الكروموسومية وسميكة ، وقد يصعب عليها الإنبات فى قلم زهرة النوع الثنائى المستخدم كأم .

٢ - وجود عوائق أمام نمو الجنين :

قد يتم التلقيح والإخصاب بصورة طبيعية ، وتنقسم اللاقحة ، ويبدأ تكوين الجنين ، إلاّ أنه لايكمل نموه ، وقد يتكون الجنين بصورة طبيعية ، إلا أنه يتدهور فى أولى مراحل نموه الخضرى بعد زراعة البذور ويطلق على هذه الحالات مجتمعه اسم Hybrid Inviability ؛ وهى ترجع إما إلى عدم التوافق بين التراكيب الوراثية لنوعى الأبوين ، وإما إلى عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسبرم . وتعرف الحالة الثانية فقط - أى حالة عدم التوافق بين الجنين النامى والإندوسبرم - باسم Somatoplastic sterility ، وهى تحدث فى بعض الهجن النوعية البعيدة ، التى لايتكون فيها الاندوسبرم بصورة طبيعية ؛ ويؤدى ذلك إلى عدم استطاعة الجنين إكمال نموه ، لأنه يعتمد فى غذائه على الإندوسبرم . ويترتب على ذلك توقف نمو الجنين وانتثاره بعد فترة وجيزة من بداية تكوينه . ويتم التغلب على هذه المشكلة - عادة - بزراعة الأجنة ، وهى فى المراحل الأولى لتكوينها - فى بيئات خاصة .

طرق التغلب على مشاكل إنتاج الهجن النوعية

توصل مربو النبات إلى طرق فعالة للتغلب على كثير من مشاكل إنتاج الهجن النوعية

فى حالات خاصة إلا أن هذه الطرق لاتكون – دائما – مجدية فى كل الحالات ؛ ولذا .. فإنه يلزم استمرار التجربة والخطأ ومحاولة استنباط وسائل جديدة تناسب كل حالة . ومن الطرق التى أمكن التوصل إليها ما يلى :

١– مضاعفة كروموسومات أحد – أو كلا – الأبوين الداخلين فى التهجين (يراجع لذلك موضوع التضاعف فى الفصل الرابع عشر) .

٢– زراعة جنين أحد النوعين غير المتوافقين فى إندوسبرم النوع الآخر . وتعطى هذه الأجنة نباتات أكثر توافقا مع النوع الذى استخدم أندوسبرمه عن النباتات العادية ؛ فمثلا .. وجد أن زراعة أجنة القمح فى أندوسبرم الشيلم يعطى نباتات قمح أكثر توافقا فى التلقيح مع الشليم عن نباتات القمح العادية (عن Elliott ١٩٥٨) . كما أمكن إنتاج هجن القمح مع الشعير بزراعة الأجنة – وهى فى بداية تكوينها فى إندوسبرم الشعير ، وقد كانت هذه الهجن عقيمة ذكريًا ، ولكنها انتجت بذوراً عندما لقحت بالقمح ، واحتوت النباتات الناتجة على كل كروموسومات القمح ونصف كروموسومات الشعير (Jan وآخــرون ١٩٨٢) .

٣– فصل الأجنة النامية وزراعتها فى بيئات خاصة فى الحالات التى لايوجد فيها توافق بين الجنين النامى والأندوسبرم ، ويكون الهدف الأساسى من ذلك هو مد الجنين النامى بكل احتياجاته الغذائية ؛ لمساعدته على النمو قبل أن يبدأ فى تكوين الأوراق والاعتماد على نفسه .

٤– محاولة إجراء التهجين بين أصناف مختلفة من كلا النوعين ؛ نظراً لأن بعض الأصناف تكون متوافقة أكثر من غيرها . ويفيد فى هذه الشأن استعمال مخلوط من حبوب لقاح عدة أصناف فى تلقيح كل واحد من هذه الأصناف ، ولكن يعاب على هذه الطريقة عدم معرفة هوية الأب الذى يكون متوافقا مع الصنف المستخدم كأم .

٥– استعمال مخلوط من حبوب لقاح كلا النوعين عند إجراء التهجين ؛ فيضاف –أولاً– إلى ميسم الأم كمية قليلة من لقاحها ، ثم تضاف – بعد ذلك بفترة وجيزة - كمية أكبر من حبوب لقاح النوع المستخدم كأب ، وتفيد حبوب لقاح الأم فى إخصاب بعض البيضات ؛ فلا تسقط الزهرة مبكرة ؛ وبذا تتوفر فرصة أكبر أمام حبوب لقاح نوع الأب لإخصاب بقية البيضات .

٦– إجراء التهجين فى كلا الاتجاهين ؛ أى استعمال كل من النوعين كآباء وكأمهات

فى تلقيحات مختلفة ؛ لأن التهجين قد يكون غير ناجح فى أحد الاتجاهين ، ولكنه ناجح فى الاتجاه الآخر ، ويفضل أن يكون التهجين فى اتجاه معين فى الحالات الخاصة التالية :

أ- عند اختلاف عدد كروموسومات الأبوين .. يفضل استخدام النوع الأكثر فى عدد الكروموسومات كأم .

ب- ويفضل فى حالة مضاعفة كروموسومات أحد النوعين أن يستخدم النوع المضاعف كأم .

جـ- فى حالة وجود ظاهرة عدم التوافق الذاتى فى أحد النوعين .. يفضل استعماله كأب .

٧- محاولة إجراء التلقيح فى مراحل مختلفة من النمو البرعمى والزهرى ، وغالبا ماتكون التلقيحات البرعمية أكثر نجاحاً من تلك التى تجرى فى الوقت الطبيعى .

٨- إزالة الميسم بجزء من القلم ؛ لأن ذلك يقلل المسافة التى تجب أن تقطعها الأنبوبة اللقاحية ، التى غالبا ما تقطعها ببطء وصعوبة . وفى هذا الشأن ..أفادت إضافة كمية صغيرة من الآجار مع السكر مكان الميسم المقطوع قبل التهجينات النوعية فى الجنس *Solanum*.

٩- معاملة متاع الأم ببعض منظمات النمو ؛ مثل بتيا نفثوكسى حامض الخليك BNAA لمنع سقوط الأزهار مبكراً .

١٠- تطعيم النوع المستخدم كأم على أصل من النوع المستخدم كأب . وتفيد هذه المعاملة فى تهيئة الطعم (الأم) فسيولوجيًا لاستقبال حبوب لقاح النوع الآخر .

١١- إذا كان من الصعب تهجين نوعين (أ) ، و(ب) مباشرة .. فيفضل تهجين أحدهما - وليكن (أ) - مع نوع ثالث (جـ) ، ثم تلقيح الهجين (أجـ) مع النوع الثانى (ب) . ويسمى النوع (جـ) فى هذه الحالة باسم النوع القنطرى Bridge Species (Briggs & Knowles ١٩٦٧) .

١٢- معاملة الأزهار عند إجراء التهجينات بمركب أمينو إيثوكسى فينيل جليسين aminoethoxyvinylglycine . أدت المعاملة إلى تأخير سقوط الأزهار ؛ إلى أن وصلت الأنابيب اللقاحية إلى البويضات . ويحدث المركب تأثيره بمنع تمثيل الإثيلين ، وهو

الهرمون الذى يعرف بدوره فى التعجيل بالشيخوخة ، وتساقط الأزهار والثمار (Custers & Den Nijs ١٩٨٦) .

١٣- استخدام مزارع المبايض والبويضات (يراجع لذلك الفصلان السابع عشر والثامن عشر) .

١٤- إدخال حبوب اللقاح فى المبيض مباشرة Intraovarian Pollination . يتم فى هذه الطريقة حقن معلق لحبوب اللقاح مباشرة داخل المبيض من خلال ثقب جانبى فى المبيض ، مع عمل ثقب فى الجانب الآخر ؛ للسماح بخروج الهواء ، يستمر حقن المعلق إلى أن يمتلئ كل فراغ المبيض ويظهر ذلك بخروج السائل من الثقب المقابل . ويلى ذلك .. سد الثقوب بجلى بترولى ، اتبعت هذه الطريقة بنجاح فى بعض الهجن النوعية مثل *Argemone mexicana* x *A . ochroleuca* (عن Ohojwani & Razdan ١٩٨٢) .

عقم الجيل الأول للهجن النوعية

يمكن فى بعض الأحيان الحصول على بذور من الهجن النوعية الصعبة . وتعطى هذه البذور عند زراعتها نباتات تامة النمو وخصبة أحياناً ، إلا أنها قد تكون عقيمة - تماماً - فى حالات أخرى ، وينقسم عقم الجيل الأول الهجين إلى نوعين كما يلى :

١- عقم عاملى Genic Sterility :

يرجع العقم العاملى إلى وجود اختلافات كبيرة بين العوامل الوراثية للأبوين ، ومن مظاهره .. عدم قدرة النبات على إنتاج أزهار ، أو عدم قدرته على إتمام عملية الإنقسام الاختزالى .

٢- عقم كروموسومى Chromosomal Sterility :

يرجع العقم الكروموسومى إلى وجود اختلافات عددية أو تركيبية كبيرة بين كروموسومات الأبوين ، ومن مظاهره عدم تقارن كروموسومات الأبوين بشكل تام فى أثناء الانقسام الاختزالى ، وحدوث تقارن بين أكثر من كروموسومين فى وحدة واحدة ، وظهور تكوينات غير طبيعية للتقارن الكروموسومى فى أثناء الانقسام الاختزالى .

ومن أمثلة الهجن النوعية العقيمة الهجين بين المشمش *Prunus armenica* ، واللوز

Prunus amygdalus ، وهما نوعان قريبان نباتياً ، وفيهما ٢ ن = ١٦. أجرى التهجين ، بغرض نقل بعض الصفات الهامة من المشمش إلى اللوز ، وهى المقاومة للعناكب ، وبكتيريا التثالل التاجى ، ونيماتودا تعقد الجذور ، وتحمل الرطوبة الأرضية الزائدة ، والنضج المبكر . وقد أمكن - من عدد كبير من التلقيحات - الحصول على عدد قليل من النباتات الهجين التى كانت وسطاً فى صفاتها الخضرية ، وأنتجت قليلاً من حبوب اللقاح الخصبة ، إلاّ أنها كانت عقيمة أنثوياً تماماً (Jones ١٩٦٨) .

هذا .. ولايكون لعقم الجيل الأول الهجين أية أهمية فى المحاصيل التى يمكن إكثارها خضرياً ، وتزرع لأجل أجزائها الخضرية كما فى عديد من نباتات الزينة . ومن أهم وسائل التغلب على حالة العقم فى الجيل الأول الهجين ما يلى :

١- تلقيح الجيل الأول - رجعياً - إلى أحد الأبوين ، أو إلى كليهما ؛ فقد تكون النباتات الناتجة من التلقيح الرجعى الأول لأحد الأبوين خصبة .

٢- مضاعفة كروموسومات الهجين النوعى ؛ للتغلب على حالة العقم الكروموسومى .

٣- تطعيم الهجين النوعى على أصل من أى من نوعى الآباء ، أو من نوع أو جنس آخر ، ويؤدى ذلك أحياناً إلى تهيئة الهجين النوعى - فسيولوجياً - بطريقة تسمح بالتغلب على حالة العقم الجينى .

تدهور الهجن النوعية فى الجيل الثانى

يمكن - فى بعض الحالات - إنتاج نباتات خصبة من الهجن النوعية ، إلاّ أنها تتدهور degenerates فى الجيل الثانى ، وتصبح عقيمة . وقد فُسِّر ذلك على أساس أن النبات يكون خصباً عندما يحتوى على عوامل وراثية مكملة لبعضها البعض . فمثلا .. قد يكون العامل A مكملاً للعامل B ، والعامل a مكملاً للعامل b ، إلا أن العامل A لايكون مكملاً للعامل b ؛ ولا العامل a مكملاً للعامل B ، وتحتوى الأنواع المهجنة على هذه العوامل فى صورة مكملة لبعضها ، وتكون خصبة ؛ كأن تكون aa bb ، وAA BB ، ويكون الجيل الأول الهجين بينها ذا تركيب وراثى Aa Bb وخصباً أيضاً . أما الجيل الثانى .. فتظهر فيه انعزالات كثيرة ، يكون بعضها خصبا ؛ مثل aa bb ، و A - B - ، ويكون بعضها عقيماً ؛ مثل aa B- ، وA - bb .

نقل كروموسومات أو أجزاء كروموسومية من نوع إلى آخر

يعرف نقل كروموسومات أو أجزاء كروموسومية من نوع إلى آخر باسم In-trogression ، وهى ظاهرة تحدث طبيعياً ، وكان لها فضل كبير فى تطور النباتات المزروعة ، كما أنها تتحقق من خلال برامج التربية بإجراء التهجين النوعى المرغوب فيه ، ثم إجراء تهجينات رجعية متتابعة لأحد الآباء ؛ بغرض تحسين الخصوبة والقدرة التناسلية واستعادة صفات النوع الرجعى ، مع إضافة بعض الجينات من النوع الآخر . ويفيد التلقيح الرجعى - كثيراً - فى التغلب على حالة العقم التى تنشأ بعد تهجين نوعين بعيدين عن بعضهما من الناحية الوراثية ؛ لأن الهجين لايكون متوازناً سيتولوجيًا ، ولاتتقارن الكروموسومات الآتية من نوعى الآباء مع بعضها بشكل جيد ، ويسرع التلقيح الرجعى إلى أحد الآباء فى التغلب على حالة عدم التوازن السيتولوجى هذه ، وربما تكون المحصلة النهائية لعملية التلقيح الرجعى هى إضافة زوج كامل من الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه ليصبح ٢ ن + ٢ ؛ وبذا .. تتكون سلالة إضافة كروموسومية chromosome addition line ؛ أو أن يحل زوج كامل من الكروموسومات محل زوج من كروموسومات النوع المراد تحسينه ؛ ليصبح ٢ن - ٢ + ٢ ؛ وبذا تتكون سلالة إحلال كروموسومى Chromosome substitution line . وقد تنقل أجزاء صغيرة من الكروموسومات إلى النوع المراد تحسينه من خلال الانتقالات الكروموسومية ، ويتراوح طول الأجزاء المنتقلة من جين واحد إلى أجزاء كبيرة من الكروموسومات .

ومن أشهر الأمثلة على النقل الكروموسومى من نوع إلى آخر .. حالات نقل صفات المقاومة للأمراض من الأجناس *Agropyron* ، و *Aegilops* ، و *Secale* إلى القمح . وتكفى عدة تهجينات رجعية إلى النوع المزروع لإكمال النقل الكروموسومى فى الحالات التى لاتختلف فيها الأنواع المهجنة كثيراً عن بعضها ، أما إن كانت الأنواع المهجنة بعيدة عن بعضها .. فإن نقل الأجزاء الكروموسومية المرغوب فيها يتم بتعريض نباتات الجيل الأول للإشعاع لإعطاء الفرصة لحدوث الكسور والالتحامات الكروموسومية المرغوب فيها ، وطبيعى أن يكون ذلك متبوعاً بعدة تلقيحات رجعية إلى النوع المراد تحسينه .

أمثلة على الهجن النوعية وطرق التغلب على مشاكل العقم فيها

الهجن النوعية الطبيعية

يعتقد أن أنواعاً كثيرة قد نشأت – طبيعياً – من هجن نوعية بعيدة ، وأن بعض هذه الهجن كان بين أجناس نباتية مختلفة . ومن بين النباتات التى يعتقد نشأتها بهذا الشكل السوسن ، والأوركيد ، والقنّا ، والداليا ، والجلاديولس ، والورد ، والبنفسج ، والحور .

كما حدثت هجن نوعية كثيرة ،صاحبت نشأة عدد من الفواكه المهمة : مثل التفاح ، والبرقوق ، والكريز ، والبندق ، والعنب ، وعديد من الفواكه الأخرى ذات الثمار الصغيرة تتبع الجنس *Rubus* ، الذى يشتمل على أنواع كثيرة جداً توجد فيها الكروموسومات فى مضاعفات للعدد الأساسى ٧ حتى ١٢ ضعفاً ، وهو يتضمن الراسبرى rasberry (ثنائى غالباً) ، والبلاكبرى blackberry والديوبرى dewberry (معظمها ثنائية وبعضها به ٦ مضاعفات أو أكثر للعد الأساسى) والنسبرى nessberry ، واللونجانبرى longanberry ، وبويزنبرى boysenberry . وقد نشأ النسبرى (٤ س) من التهجين بين *Rubus trivialis* (٢ س) ، و *R . strigosus* (٢س) ؛ حيث إن الأول هو الديوبرى الجنوبى ، والثانى هو الراسبرى الأمريكى ، ونشأ اللونجانبرى *R . longanbaccus* (٦س) من التهجين بين الديوبرى الأمريكى *R . ursinus* (٨س) ، والراسبرى الأوروبى *R . idaeus* (٢س) ؛ حيث اتحدت جاميطات (٢ ن) من الثانى مع جاميطات (١ن) من الأول . وقد تهجن اللونجانبرى بدوره مع الديوبرى الشرقى ، ونتج من ذلك الينجبرى youngberry الذى يحتوى على نفس عدد الكروموسومات مثل اللونجانبرى ، ولكنه لايلَقّح معه .

وقد نشأت بعض المحاصيل الاقتصادية المهمة مثل القمح ، والشوفان ، والقطن ، والدخان ، وقصب السكر (وهى التى تعد نباتات متضاعفة هجينياً ، شبيهة بالثنائية amplhidiploids) من هجن نوعية بعيدة . وفيما عدا ذلك .. فلم يكن للهجن النوعية الطبيعية دور كبير فى نشأة محاصيل الحبوب ، والألياف ، والزيوت ، والعلف . كما لم تتأثر محاصيل الخضر – كثيراً – بالهجن النوعية الطبيعية باستثناء البطاطس ، والبطاطا .

الهجين بين القمح والشيلم (التريتكيل)

يعد التريتيكيل Triticale (Triticosecale sp.) أحد محاصيل العائلة النجيلية ، وهو من الحبوب الصغيرة ، ويمثل أول محاولة ناجحة ، لتخليق محصول جديد بالتهجين بين جنسين مختلفين ، هما قمح الخبز السداسى *Triticum vulgare* ، والشيلم *Secale cereate* . وكان التلقيح قد أجرى – أصلاً – بهدف جمع صفة المقاومة للبرودة ، التى توجد فى الشيلم مع الصفات المرغوب فيها للقمح .

ويتشابه التريتكيل – مورفولوجياً – مع القمح فى شكل النبات وصفات الحبة ، إلا أنه يمتاز عنه بزيادة فى كل من قوة النمو وحجم الحبة ، كما أن السفا فية أطول ، ويتحدد إن كان التريتكيل من النوع الربيعى ، أو الشتوى بنوع وصنف القمح المستخدم فى التلقيح مع الشيلم .

وقد عرفت من التريتكيل أنواع سداسية (٢ ن = ٦ س = ٤٢ كروموسوماً) ، وأخرى ثمانية (٢ ن = ٨ س = ٥٦ كروموسوماً) منذ أكثر من مئة عام . تكونت الأولى (السداسية) عندما هجن القمح الرباعى (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسوماً) مع الشيلم ، (٢ ن = ٢س = ١٤ كروموسوماً) ، ثم ضوعفت كروموسومات الجيل الأول الهجين . أما الأنواع الثمانية فقد أنتجت بتهجين القمح السداسى (٢ن = ٦ س = ٤٢ كروموسوماً) مع الشيلم ، ثم مضاعفة كروموسومات الجيل الأول الهجين ، ونظراً لأن إنتاج الطرز الثمانية كان أسهل من الطرق السداسية التى كانت أكثر خصوبة ؛ لذا فإنها حظيت باهتمام أكبر فى بادىء الأمر ، إلى أن تبينت أفضلية الطرز السداسية التى كانت أكثر خصوبة ، كذلك .. أنتجت طرز رباعية (٢ ن = ٤س = ٢٨ كروموسوماً) من التريتكيل على نطاق تجريبى فقط ، ووجد أنها أقل فى صفاتها الحقلية والتجارية من الطرز الأخرى .

وقد أنتج الصنف روزنر Rosner فى كندا كأول صنف تجارى من التريتكيل . وقد كان واضحاً تفوق هذا الصنف على الطرز التى سبقته من التريتكيل فى قوة الساق (لتجنب الرقاد) والخصوبة والتبكير فى النضج ، إلا أنه كان حساساً للفترة الضوئية ، وقليل المحصول . وقد أعقب ذلك إنتاج سلالات الأرماديللو Armadillo فى المكسيك . وقد تميزت هذه السلالات بعدم حساسيتها للفترة الضوئية ، وارتفاع محصولها ، وقد كانت

٦٠٪ منها أعلى محصولاً من الصنف روزنر ، كما كانت ٢٪ منها أعلى محصولاً من أكثر أصناف القمح الكندية إنتاجية . وقد وصل محصول بعض هذه السلالات إلى ٦٧٠٠ كجم / هكتار فى كاليفورنيا ، وهو يقارب ما تنتجه أعلى أصناف القمح محصولاً . هذا .. ويفوق الترتكيل القمح فى محتواه من البروتين والأحماض الأمينية الضرورية . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Larter (١٩٧٦) .

التهجين بين القمح والجنس *Aegilops*

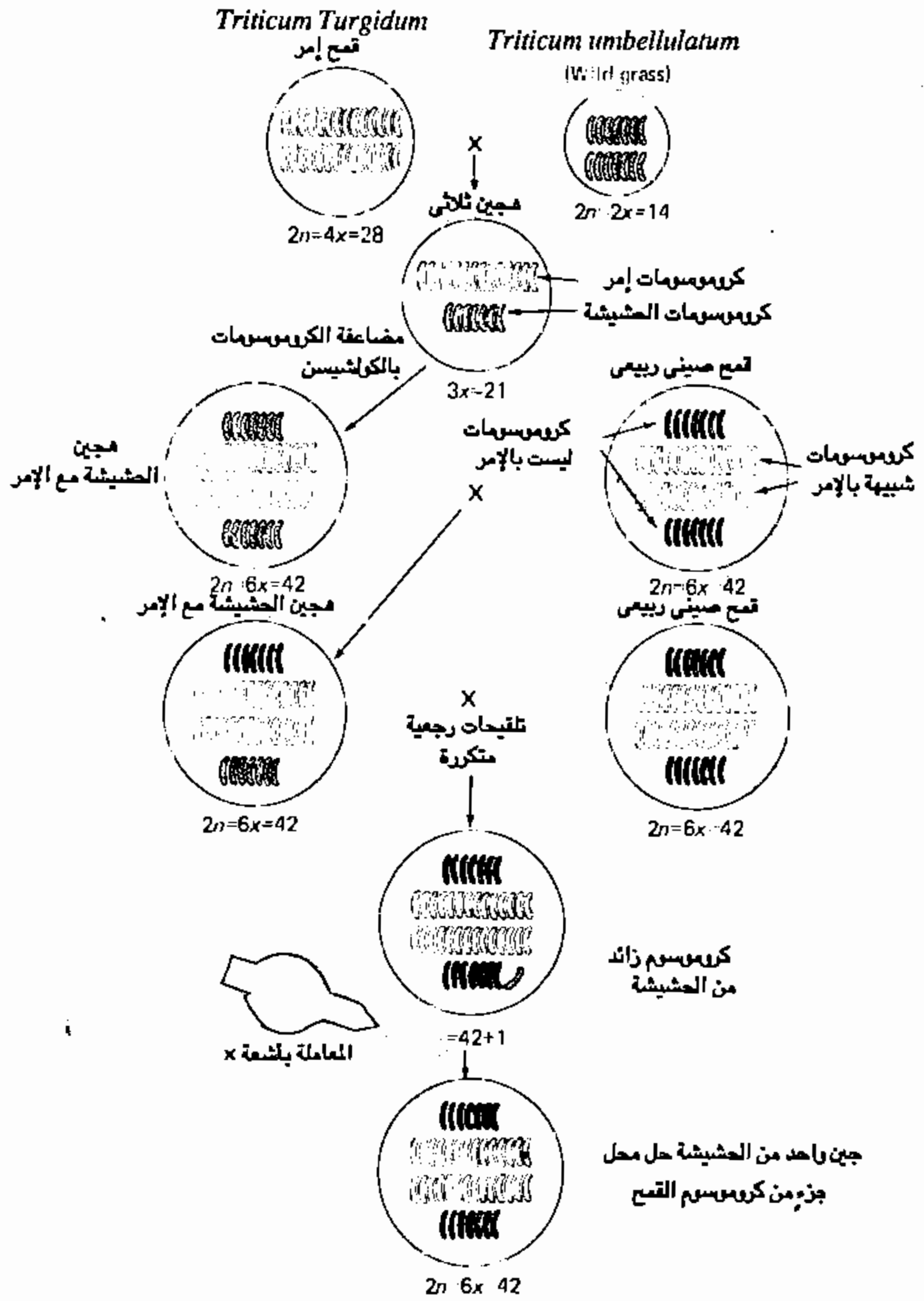
تحتوى الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* على صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق التى يتحكم فيها جين واحد سائد ، بينما لا توجد هذه المقاومة فى القمح السداسى *Triticum aestivum* . ونجد فى القمح أن ٢ ن = ٦س = ٤٢ كروموسوماً بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسوميه A ، و B ، و D ؛ بينما نجد أن الوضع الكروسومى فى النوع *A . umbellulata* هو ٢ن = ٢س = ١٤ كروموسوماً ؛ بواقع ٧ أزواج من كروموسومات الهيئة الكروموسومية C . وبينما يتلقح كل من القمح والنوع *A . umbellulata* مع أنواع أخرى كثيرة .. فإن التلقيح بينهما لاينجح . وللتغلب على هذه المشكلة – لنقل صفة المقاومة لصدأ الأوراق من *Aegilops* إلى القمح – هجّن E . R . Sears القمح emmer الرباعى *T. dicoccoides* (٢ن = ٤س = ٢٨ كروموسوماً بواقع ٧ أزواج من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A ، و B) مع النوع *Aegilops* ، وقد كان الهجين بينهما ثلاثياً وعقيما (٢ن = ٣ س = ٢١ كروموسوماً بواقع ٧ كروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A ، و B ، و C) ، وأدت مضاعفته إلى إنتاج هجين متضاعف شبيه بالثنائى amphidipoid به ٢ن = ٦س = ٤٢ كروموسوماً ؛ بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئات الكروموسومية A ، B، و C . وكان هذا الهجين المتضاعف خصباً جزئياً فى تلقيحاته مع قمح الخبز السداسى ، ونتج من محاولات تلقيحه مع القمح هجين ، كان به ٢ ن = ٦ س = ٤٢ كروموسوماً بواقع ٧ أزواج من الكروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتين A ، و B ؛ و ٧ كروموسومات من كل من الهيئتين الكروموسوميتن C ، و D (أى كان الهجين AA BB CD) . وقد ظهر بالهجين فى أثناء الانقسام الاختزالى ١٤ وحدة ثنائية الكروموسوم (وهى الخاصة بالهيئتين A ، و B) ، و١٤ وحدة أحادية الكروموسوم (وهى

الخاصة بالهيئتين C ، وD) ، وكان الهجين مقاوماً للصدأ وأقرب فى شكله المظهرى من الحشيشة *Aegilops* ، وكانت حبوب لقاحه عقيمة إلى حد كبير ، إلاّ أنه أنتج بعض البذور لدى تلقيحه ذاتيًا . وقد قام Sears بتلقيح هذه النباتات رجعيًا ، إلى قمح الخبز عدة مرات مع انتخاب النباتات المقاومة للصدأ بعد كل تلقيح . وقد تبين بعد إجراء عدة تلقيحات رجعية أن النباتات المنتخبة كانت ثلاثية الكروموسوم trisomics (أى تحتوى على كروموسوم زائد ، وفيها ٢ ن = ٤٣)، وتبين أن الكروموسوم الزائد كان من الهيئة الكروموسومية C . وكانت هذه النباتات قليلة الخصوبة ، وأسهم فيها الكروسوم الزائد بعديد من الجينات غير المرغوب فيها ؛ مثل التبكير فى الإزهار ، وضعف المحصول .

وقد أكمل Sears الحلقة الأخيرة من هذا البرنامج بمعاملة النباتات التى تحتوى على ٤٣ كروموسوماً بالإشعاع قبل الانقسام الاختزالى ، ثم استخدم حبوب اللقاح التى أنتجتها فى تلقيح أزهار نباتات أخرى من نفس الهجين لم تعرض للإشعاع ، وأعطت هذه التلقيحات ٦٠٩١ نباتاً ، كان من بينها ١٣٢ نباتاً مقاوماً للصدأ ، ومن بين الفئة المقاومة للصدأ تبين وجود تبادل لأجزاء كروموسومية reciprocal chromosonal interchange فى ١٢ نباتاً منها ؛ أى إن كل نبات من الاثنى عشر نباتاً كان به انتقال لقطعة من كروموسوم النوع *Aegilops* – تحتوى على الجين المسئول عن المقاومة للصدأ – إلى أحد كروموسومات القمح . وكانت معظم الانتقالات الخليطة هذه عقيماً – جزئياً – واحتوت على صفات أخرى للنوع *Aegilops* ؛ مما يدل على أن الجزء الكروموسومى المنقول فى كل منها كان كبيراً نسبياً ؛ إلا أن أحد النباتات كان مقاوماً للصدأ ، بينما كانت صفاته مقبولة كما كان كامل الخصوبة . وقد أظهرت الدراسات السيتولوجية التى أجريت على هذا النبات أن الانتقال الكروموسومى شمل جزءاً صغيراً جداً من كروموسوم النوع *Aegilops* لم يحمل سوى الجين المسئول عن المقاومة لمرض صدأ الأوراق (عن Brewbaker ١٩٦٤) . ويبين شكل (١٥ – ١) تخطيطاً لبرنامج التربية الذى سبق شرحه (عن Poehlman ١٩٧٩) .

التهجين بين جنس القمح *Triticum* والجنس *Agropyron*

نال الهجين بين جنس القمح *Triticum* ، والجنس *Agropyron* اهتمام الكثيرين ، وكان الهدف الأصلى هو إنتاج قمح معمر . وبرغم أنه أمكن تحقيق بعض التقدم نحو هذا



قمح صينى ربيعى به جين لمقاومة صدأ الورقة أضيف إليه من *Triticum umbellulatum*

شكل (١٥ – ١) : تخطيط يبين الطريقة التى أمكن بواسطتها نقل صفة المقاومة لمرض صدأ الأوراق من الحشيشة البرية *Aegilops umbellulata* إلى قمح الخبز السداسى *Triticum aestivum* .

الهدف .. إلا أن أهم ما تمخضت عنه هذه الدراسات كان انتخاب طرز شبيهة بالقمح ، ذات مقاومة جيدة للصدأ والأمراض الأخرى التى يقاومها النوع *Agropyron* . ويعد عدم الثبات السيتولوجى الوراثى من أهم مشاكل النباتات المتضاعفة الشبيهة بالثنائية Amphidiploids لهذا الهجين النوعى .

الهجين النوعية فى الجنس *Lycopersicon*

تتلقح الطماطم *Lycopersicon esculentum* بسهولة تامة مع النوع *L . pimpinellifolium* ، وقد أمكن عن طريق هذا التلقيح نقل كثير من الصفات المهمة إلى الطماطم ؛ مثل صفات المقاومة للفطريات *Fusariam oxysporum* ، و*Stemphylium solani* ، و *Cladosporum fulvum* ، وغيرها . كما تتلقح الطماطم بسهولة مع النوع *L . cheesmanii* الذى يتميز بقدرته على تحمل الملوحة العالية ، والنوع *L . pennellii* الذى يتميز بقدرته على تحمل ظروف الجفاف . كذلك .. أمكن تلقيح الطماطم مع كل من النوعين *L . hirsutum* ، و *L . chilense* بشرط استعمال الطماطم كأمهات ، وأمكن عن طريق هذه الهجن النوعية نقل عديد من الصفات المهمة ؛ مثل المقاومة للفطر *Septoria lycopersici* من النوع *L . hirsutum* . أما النوع *L . peruvianum* .. فإنه لايهجن مع الطماطم إلاّ إذا استخدم الأخير كأم مع زراعة الأجنة الهجين فى بيئة صناعية ، وهى فى المراحل المبكرة لتكوينها ، و إلاّ تدهور الجنين ، واختفى داخل الثمرة التى تكمل نموها وهى خالية من البذور .

وقد أمكن عن طريق هذا التلقيح نقل عدد من الصفات الهامة إلى الطماطم ؛ مثل المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور ، والمحتوى المرتفع من فيتامين جـ ، كما تجرى محاولات لنقل صفة المقاومة لفيرس التفاف واصفرار أوراق الطماطم التى توجد على مستوى عال فى بعض سلالات النوع *L . peruvianum* . وقد نوه C . M . Rick فى عام ١٩٨٣ عن وجود سلالتين من *L . peruvianum* يلَقّحان بسهولة تامة مع الطماطم ، وهما LA 1708 ، و LA 2172 . ووجد أن هاتين السلالتين لاتُلحقان مع أية سلالة أخرى من نوعهما ، كما لم يكن الهجين النوعى بينهما وبين الطماطم صالحاً كقنطرة للتهجين مع سلالات أخرى من النوع *L . peruvianum* ؛ رغم أنه كان خصباً جزئياً ومتوافقا فى الهجن الرجعية إلى الطماطم (Lindhout & Purimahua ١٩٨٨) . هذا .. بينما تمكن

marulanda & (١٩٨٩) من التهجين بين السلالة LA 2394 من *L . esculentum* var . *cerasiforme* كأم والسلالة LA 1708 من *L . peruvianum* كأب ، وكان الهجين النوعى بينهما خصباً فى تلقيحاته مع سلالات أخرى من *L . peruvianum* ، وأعطت هذه التلقيحات بذورا كثيرة؛ وهو ما يعنى إمكان استعماله كقنطرة وراثية بين النوعين *L . esculentum* ، و *L . peruvianum* . ولمزيد من التفاصيل عن الهجن النوعية فى النوع *Lycopersicon* وأوجه الاستفادة بها .. يراجع Rick (١٩٧٩ ، ١٩٨٠) .

الهجن النوعية فى الجنس *Fragaria*

يُعَد الشليك *Fragaria × ananassa* من الأمثلة الناجحة للهجن النوعية (يشير حرف x فى الاسم العلمى إلى أنه ناتج من هجين نوعى) ؛ فقد جرت محاولات كثيرة فى أوروبا لعزل تراكيب وراثية جيدة من الانواع البرية التى كانت شائعة ، وهى *F . moschata* ، و *F . vesca* ، و *F . viridis* ، ومن النوعين *F . chiloensis* ، و *F . virginiana* – اللذين نقلا إلى أوروبا من الأمريكتين – إلاّ أن هذه المحاولات لم تثمر النتائج التى كانت مرجوة منها ، وعندما هَجّن المزارعون النوعين الأخيرين فى القرن الثامن عشر ، ظهرت انعزالات كثيرة فى النسل ، وانتخبت الطرز الجيدة لتُطَوّر فيما بعد إلى الشليك المزروع .

ولمزيد من الأمثلة عن الهجن النوعية يراجع Knott & Dovrak (١٩٧٦) بشأن الاستفادة بها فى نقل صفات المقاومة للأمراض من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة ؛ مثل الطماطم ، والبنجر ، والبطاطس ، والدخان ، وغيرها ، ويراجع Uhlinger (١٩٨٢) بشأن الهجن البعيدة بين الأنواع العشبية المعمرة ، و Layne (١٩٨٣) بشأن الهجن النوعية فى الفاكهة ، والجمعية الأمريكية لعلوم البساتين (Amer . Soc Hort . Sci ١٩٨٦) ، بشأن التغلب على مشاكل العقم فى الهجن النوعية للأجناس *Prunus* ، و *Malus* ، و *Pyrus* ، و *Rubus* ، و *Vaccinium* ؛ ويراجع Dicksom & Wallace (١٩٨٦) بشأن الهجن النوعية فى الجنس *Brassica* ، و Whitaker & Robinson(١٩٨٦) بشأن الهجن النوعية فى الجنس *Cucurbita* .

الفصل السادس عشر

القواعد المتعلقة بتربية النباتات الخضرية التكاثر

إن أهم ما يميز النباتات الخضرية التكاثر هو أنه بمجرد تعرُّف نبات ذى تركيب وراثى مرغوب فيه .. فإن هذا النبات يمكن إكثاره فى الحال ، ليصبح صنفاً جديداً ، ويكون العثور على هذا النبات هو المحور الرئيسى لبرنامج التربية .

مصادر الاختلافات الوراثية

يمكن العثور على التراكيب الوراثية المرغوب فيها ، إما بالانتخاب فى العشائر المتوفرة المكثرة خضرياً ، وإما بالمعاملة بالعوامل المطفرة ، وإما بعد اللجوء إلى التكاثر الجنسى إن كان ذلك ممكناً .

الانتخاب فى العشائر المتوفرة المكثرة خضرياً

سبقت الإشارة إلى أنه لاجدوى من الانتخاب فى السلالة الخضرية ؛ لأن نباتاتها تكون متجانسة تماماً ، وإذا ظهرت أية اختلافات بينها .. فإنها تكون غالباً بيئية . أما العشائر التى يجدى فيها الانتخاب .. فهى التى يحتمل أن تكون قد تراكمت فيها الطفرات خلال فترة طويلة من الزمن ، مثل الأصناف البلدية ، والأصناف المحسنة القديمة . ويفضل فى هذه الحالة الانتخاب للصفات التى يكون من السهل تعرُّفها ، مثل كل الصفات النوعية ،

ويعرف الانتخاب حينئذ باسم انتخاب السلالة الخضرية Clonal Selection . ويعاب على هذه الطريقة فى التربية أنها تعتمد كلية على الاختلافات الوراثية التى توجد بصورة طبيعية ؛ فلاتعطى بذلك الفرصة لإحداث تقدم سريع وجوهرى فى صفات المحصول .

اللجوء إلى التكاثر الجنسى

ترجع أهمية اللجوء إلى التكاثر الجنسى (إن كان ذلك ممكنًا) إلى الحقائق التالية :

١- يُعَد التكاثر الجنسى الوسيلة الوحيدة لجمع صفات من سلالات ، أو أصناف مختلفة فى صنف جديد .

٢- يعطى التهجين بين الأصناف الفرصة لظهور انعزالات جديدة كثيرة للغاية (يبلغ عددها $٣^{ن}$ حيث ن هى عدد العوامل الوراثية ، التى يختلف فيها الصنفان الملقحان) .

٣- تتميز النباتات الخضرية التكاثر بأنها تكون على درجة كبيرة من عدم التماثل الوراثى (يراجع لذلك الفصل الثالث) ؛ لذا .. فإن مجرد تلقيحها - ذاتيًا - ينشأ عنه انعزالات وراثية كثيرة .

ويستفاد مما تقدم بيانه فى تحسين المحاصيل الخضرية التكاثر كما يلى :

١- الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند التلقيح الذاتى ، وقد انتخبت بهذه الطريقة معظم الأصناف القديمة من الفاكهة .

٢- الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند التلقيح الخلطى الطبيعى بين نباتات الصنف الواحد أو الأصناف المختلفة ، وقد انتجت بهذه الطريقة أصناف كثيرة من نخيل البلح . وتتميز النباتات المنتخبة بهذه الطريقة بأنها لاتتعرض لاحتمالات التدهور مع التربية الداخلية الذى قد يحدث فى حالة التلقيح الذاتى .

٣- الاستفادة من الانعزالات التى تحدث عند إجراء تلقيحات مُتَحكَمٌ فيها بين أصناف مختارة تحمل الصفات المرغوب فيها ، وتلك هى الطريقة المفضلة ، التى تتبع - حاليًا - فى معظم برامج التربية .

٤- الاستفادة من ظاهرة قوة الهجين التى تظهر عند تهجين السلالات المرباة تربية داخلية بشكل جزئى ؛ حيث تمارس التربية الداخلية لأجيال قليلة مع انتخاب النباتات المتميزة بعد كل جيل ، ثم تلقح السلالات المنتخبة معًا ، وتقيم الهجن الناتجة ، وتنتخب

أفضل النباتات الهجين ؛ لإكثارها كأصناف جديدة .

هذا .. ولايمكن – دائمًا – اللجوء إلى التكاثر الجنسي ؛ نظرًا لأن بعض الأنواع النباتية الخضرية التكاثر لاتنتج بذورًا بالمرة ، أو قد تنتج بذورًا بها أجنة لا إخصابية فقط (أى تكون إجبارية التكاثر اللاإخصابى) . وقد أمكن التغلب على المشكلة الأخيرة فى بعض الحالات (شكل ١٦-١) ؛ نظرًا لأن التكاثر اللاإخصابى هو فى الأساس ظاهرة وراثية .

وتجدر الإشارة إلى استحالة تطبيق طريقة التربية بالتهجين الرجعى على النباتات التى تكثر – تجاريًا – بطريقة خضرية ، ولكن يمكن أن يتبع معها طريقة التهجين الرجعى المحورة ، التى سبقت الإشارة إليها فى الفصل الثانى عشر .

المعاملة بالعوامل المطفرة

سبقت الإشارة فى الفصل الثالث عشر إلى أهمية تربية النباتات الخضرية التكاثر بالطفرات . ويفيد هنا إعادة التأكيد أن تربية النباتات الخضرية التكاثر بالطفرات ، تعادل فى تأثيرها النهائى التربية بالتهجين الرجعى فى النباتات الجنسية التكاثر .

هذا .. وأيًا كانت طريقة التربية المتبعة .. فإن التقييم إما أن يكون على أساس النباتات الفردية فى حالة الانتخاب للصفات النوعية ذات درجات التوريث المرتفعة ، وإما أن يكون على أساس السلالات الخضرية دون مكررات فى حالة الصفات الكمية ذات درجات التوريث المتوسطة ، وإما بمكررات بالنسبة للصفات الكمية ذات درجات التوريث المنخفضة .

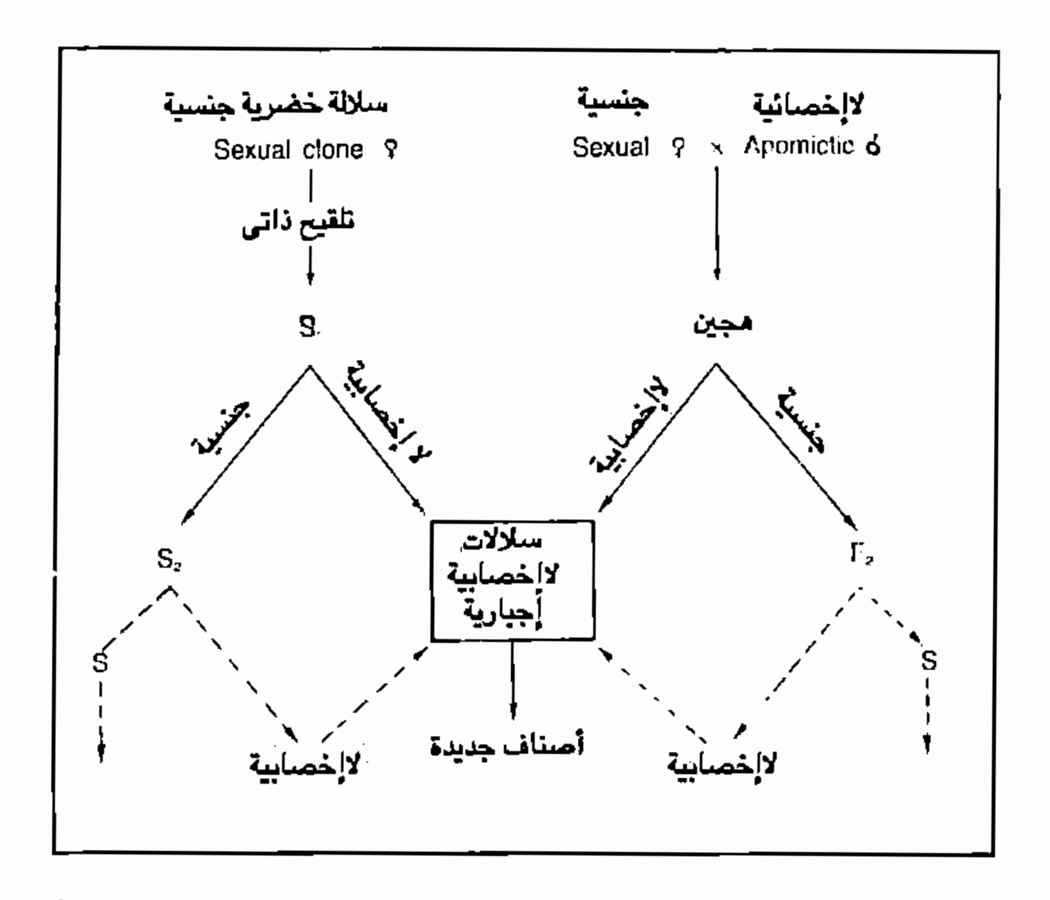
مشاكل تربية النباتات الخضرية التكاثر

توجد مشاكل عامة تتعلق بتربية النباتات الخضرية التكاثر بوجه عام ، منها ما يلى :

١- لاتنتج بعضها بذورًا ؛ مثل الموز ، والقلقاس ، والثوم .

٢- تكثر بها مشاكل العقم وعدم التوافق .

٣- توجد فى بعضها ظاهرة تعدد الأجنة ، كما فى أنواع الموالح المختلفة (ما عدا الشادوك والكازمارو)، وبعض أصناف المانجو ؛ مثل : هندى بسنارة ، وتيمور، وقلب الثور، ولونج، ومسك ، ومستكاوى . وتعد هذه الظاهرة عائقًا أمام المربى الذى يتعين عليه زراعة ورعاية عدة نباتات من كل تلقيح، إلى أن يتمكن من معرفة النبات الناتج من الجنين الجنسى .



شكل (١٦ – ١) : طريقة إنتاج أصناف جديدة من حشيشة بفل buffelgrass وهى ذات تكاثر لاإخصابى إجبارى ، تكون السلالة الجنسية التكاثر خليطة فى الجينات التى تتحكم فى القدرة على التكاثر الجنسى ، وتعطى نسلاً ذا تكاثر جنسى (S) ، ولاإخصابى (A) عند تلقيحها ذاتيا أو مع سلالة ذات تكاثر لاإخصابى (Fehr ١٩٨٧) .

٤– تكثر بها الإصابات الفيرسية التى تنتقل بالتكاثر الخضرى .

٥– تكون معظم الأصناف خليطة وراثياً .

كما توجد مشاكل خاصة بالمحاصيل الخشبية المعمرة الخضرية التكاثر كالفاكهة ؛ منها مايلى :

١– احتياجها إلى عدة سنوات حتى تزهر وتثمر .

٢- احتياجها إلى مساحات كبيرة لإجراء التقييم اللازم على النباتات المنعزلة .

٣- صعوبة التنبؤ باحتياجات المستهلك فترة طويلة مقدمًا ، وهى الفترة التى يستغرقها برنامج التربية .

٤- استحالة تغيير الصنف بسرعة .

٥- تكثر بها مشاكل عدم توافق الأصل مع الطعم .

طرق التغلب على مشاكل تربية الأشجار المعمرة

تعد فترة الحداثة الطويلة التى تبقى فيها أشجار الفاكهة المعمرة غير مثمرة من أكبر مشاكل تربية الفاكهة . وقد أمكن التغلب على هذه المشكلة - جزئيًا - باتباع ما يلى :

١- تطعيم البادرات الناتجة من الهجن على أشجار معمرة :

يمكن عند اتباع هذه الطريقة تطعيم براعم ، أو أفرع خضرية من البادرات الصغيرة على أشجار بعمر ٥-٦ سنوات ليسهل إجرء التطعيم عليها ، وليسهل إجراء التقييم للثمار بعد ذلك ، حينما تكون الأشجار لاتزال صغيرة . ويمكن الحصول على عقل للتطعيم -عادة- فى نهاية موسم النمو الأول . ويفضل - دائماً - تطعيم النباتات الناتجة من تهجين واحد - مجتمعة - على شجرة واحدة . وتثمر هذا الطعوم -عادة- بعد ٣-٤ سنوات ؛ وبذا .. يمكن تقييمها فى خلال خمس سنوات من إجراء التهجين ، مقارنة بنحو ٨-١٠ سنوات عند تربية النباتات إلى مرحلة الإثمار . ويعاب على هذه الطريقة أنها لاتسمح بتقييم الأشجار من حيث قوة النمو ، والشكل العام (Magness ١٩٢٧) .

١- تشجيع النمو القوى فى السنوات الأولى بعد الزراعة بزيادة مسافة الزراعة .

٣- تقليم الجذور .

٤- تحليق جذوع الأشجار التى بلغت من العمر أربع سنوات .

٥- التطعيم على أصول مقزمة ؛ مثل أصل التفاح East Malling (Way ١٩٧١) .

٦- الاستفادة من الارتباط بين صفات الثمار ، وصفات النمو الخضرى .

ففى التفاح - مثلا - وجد ارتباط عالٍ بين pH أوراق الأشجار وهى فى عمر سنتين ، وبين pH الثمار عندما أثمرت تلك الأشجار وهى فى عمر ٦-٧ سنوات ، وأمكن اتخاذ تلك العلاقة كأساس للانتخاب لصفة pH الثمار ؛ فوجد أن استبعاد البادرات ذات الـ pH

الأعلى من المتوسط (٤٠٪ من مجموع البادرات) أدى إلى استبعاد ٧٤٪ من النباتات التى أنتجت ثماراً قليلة الحموضة بدرجة غير مرغوب فيها (pH ≥ ٣,٨) . إلا أن هذه الطريقة لم تكن فعّالة فى خفض نسبة الأشجار التى تحمل ثماراً حامضية بدرجة غير مقبولة (pH ≤ ٢,٩) (Visser & Verhaegh ١٩٧٨) .

وتستخدم منظمات النمو فى التغلب على بعض مشاكل تربية الأشجار المعمرة مثل الفاكهة ، كما يلى :

١- تقصير فترة الانتقال Transition Phase :

تمر الأشجار المعمرة -مثل الفاكهة- بفترة حداثة Juvenile Phase تتراوح من ٤-١٢ سنة قبل أن تبدأ فى الإزهار ، ولايمكن دفع النباتات خلالها للإزهار بأية وسيلة . ولاتتفق - أحياناً - نهاية فترة الحداثة مع بداية الإزهار . ويطلق على المدة التى تمر بين المرحلتين اسم فترة الانتقال ، وهى مرحلة تتأثر خلالها النباتات - بسهولة - بالمعاملة بمنظمات النمو ، ويمكن تقصيرها بمعاملة النباتات بالـ SADH ، و TIBA ، و CEPA ، وغيرها .

٢- التغلب على سكون البذور :

يحل حامض الجبرلليك محل معاملة الكمر البارد Stratification فى معظم الفواكه التى تتطلب بذورها تلك المعاملة ، كما استعملت الثيوريا كذلك . ووجد أن تعريض البذور لفترة قصيرة من الكمر البارد بعد المعاملة بأى من منظمى النمو يزيد من كفاءة منظم النمو فى التخلص من سكون البذور .

٣- إحداث العقم الذكرى :

أمكن إحداث العقم الذكرى فى بعض الفاكهة -مثل العنب- بالمعاملة ببعض منظمات النمو ؛ مثل الماليك هيدارزيد ، والتراى أيودوبنزوك أسد TIBA ، و الـ FW 50 .

٤- المساعدة على إجراء التلقيحات البعيدة :

أمكن - مثلاً - إجراء تهجينات ناجحة بين الكمثرى ، والتفاح بمعاملة مبايض الأزهار الملقحة بمنظم النمو بيتا نفثوكسى حامض الخليك B - NAA قبل التلقيح مباشرة ، وبعد التلقيح بـ ٢٤ ساعة .

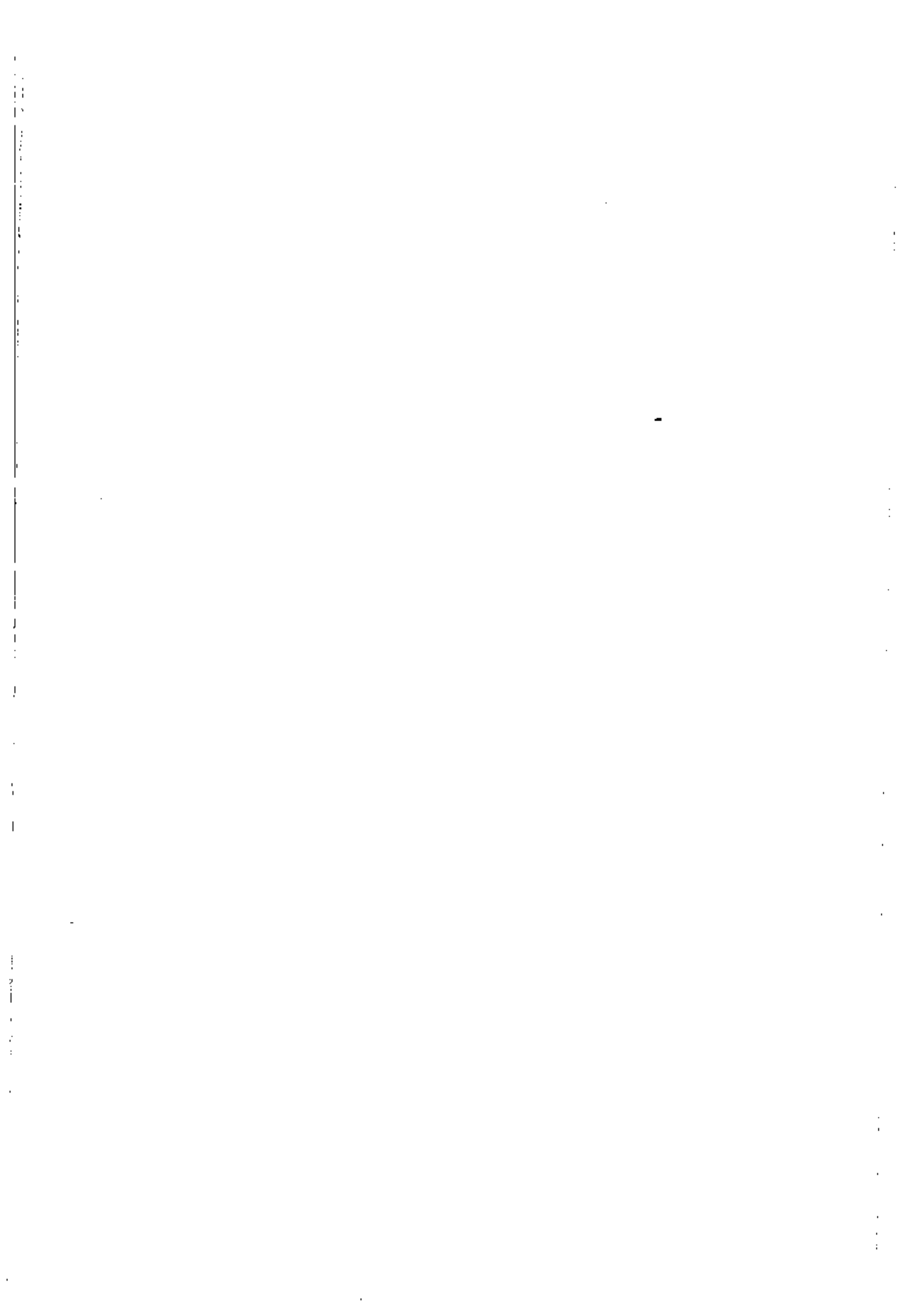
٥- كسر سكون البراعم :

يستخدم لكسر سكون البراعم حامض الجبريلليك ، والثيوريا .

٦- منع تساقط الثمار :

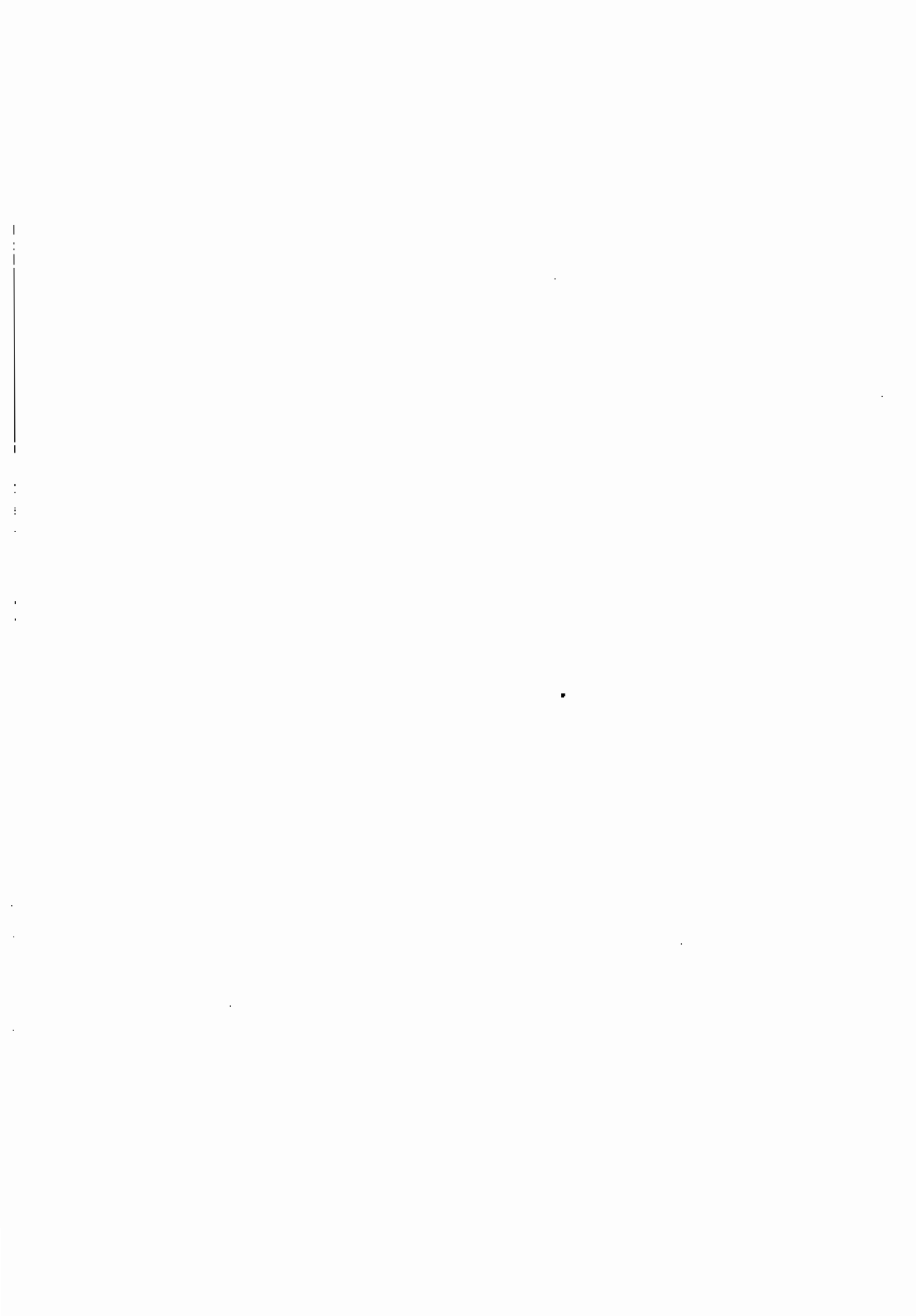
يُعَدُّ تساقط بعض الثمار أمراً طبيعياً فى كثير من الفاكهة ؛ مثل الموالح والمانجو . وإذا سقطت الثمار الناتجة من التلقيحات .. تأخر برنامج التربية ، وضاعت جهود المربى . وقد وجد أن تساقط الثمار تقل معدلاته كثيراً بالرش بمنظم النمو ٢ ، ٤ - د 2,4-D بتركيز ٢٥ جزءاً فى المليون (عن Dhatt ١٩٧٧) .

وقد أمكن لسنوات عديدة التغلب على مشكلة صعوبة تمييز بادرة الجنين الجنسى عن بادرات الأجنة اللاإخصابية فى الحمضيات ، بالاستفادة من سيادة صفة الورقة الثلاثية التى توجد فى النوع *Poncirus trifoliata* عند تلقيحه مع أنواع الجنس *Citrus* ؛ حيث تكون البادرات الناتجة من الجنين الجنسى لهذا التلقيح النوعى ثلاثية الأوراق .. إلا أن هذه الصفة لاتوجد إلا فى الجنس *Poncirus* ؛ وعليه .. فإنها لاتفيد عند تلقيح أنواع الجنس *Citrus* مع بعضها (عن Esen وآخرين ١٩٧٥) .



القسم الثالث

زراعة الأنسجة وأوجه الاستفادة منها في تربية النبات



يستعمل مصطلح مزارع الأنسجة Tissue Culture فى هذا القسم ليعنى به مزارع الخلايا والأنسجة والأعضاء النباتية تحت ظروف معقمة . وغنى عن البيان أن مزارع الأنسجة هى علم قائم بذاته ، إلا أننا نتناولها فى هذا القسم كأداة جديدة هامة ، أصبح يعتمد عليها مربى النبات اعتماداً متزايداً فى تحقيق أهداف برامج التربية . ونقدم فى الفصل التالى (الفصل السابع عشر) عرضاً سريعاً للأسس العامة لمختلف أنواع مزارع الأنسجة ، مع الإشارة إلى المراجع المتخصصة التى تتناولها بتوسع ؛ ثم نستعرض – فى الفصل الثامن عشر – أوجه الاستفادة من مختلف أنواع مزارع الأنسجة فى مجال تربية النبات .

أما الهندسة الوراثية – وهى أحدث العلوم البيولوجية – فهى أيضاً علم قائم بذاته . وبينما تعد مزارع الأنسجة أداة مهمة و يعتمد عليها علم الهندسة الوراثية .. فإن الهندسة الوراثية تعد – بدورها – أداة مهمة فى يد مربى النبات ، يمكن استخدامها فى تحسين المحاصيل الزراعية ؛ ومن هذا المنطلق .. فإننا نتعرض – باختصار – فى نهاية الفصل الثامن عشر – للهندسة الوراثية ؛ كوسيلة لتحسين النباتات فى صفات معينة ، ضمن برامج التربية العادية ، مع الإشارة إلى المراجع المتخصصة فى هذا المجال .

وما العرض السريع للأسس العامة لمزارع الأنسجة والهندسة الوراثية فى الفصل السابع عشر إلا لتعريف القارئ بمختلف أنواع مزارع الأنسجة ، وطبيعة التقنيات التى تتطلبها هذه النوعية من الدراسات ؛ لكى يمكن استيعاب أوجه الاستفادة منها فى مجالات تربية النباتات فى الفصل الثامن عشر . أما التوسع فى دراسة مزارع الأنسجة والهندسة الوراثية ، وتعُّرف دقائق تقنياتها .. فليست من أهداف هذا الكتاب – ولايصح أن تكون – ويمكن الرجوع إلى تلك التفاصيل فى المراجع المتخصصة التى سبق ذكرها . هذا .. ولقد

لخصت معظم المعلومات الواردة فى هذا القسم عن Ohojwani & Razdan (١٩٨٢) ، مع إضافات أخرى من المصادر التى جاء بيانها .

الفصل السابع عشر

زراعـــة الأنسجـة

أمور عامة

مختبر زراعة الأنسجة

تجرى زراعة الأنسجة تحت ظروف معقمة فى مختبرات خاصة ، يجب أن تتوفر فيها شروط معينة ، وأن تجهز تجهيزا خاصاً ؛ فيجب أن يحتوى المختبر على غرفة خاصة لتحضير البيئات ، وأخرى لزراعة الأنسجة وثالثة لحضانة المزارع وحفظها . ويجب أن يزود المختبر بقائمة طويلة من مختلف أنواع الزجاجيات ، والمركبات الكيمائية ، والحضانات ، والأدوات ، والأجهزة المختبرية العادية (التى تتوفر – عادة – فى مختبرات أمراض النبات) ، بالإضافة إلى حيّز مبّرد مناسب فى الثلاجات لتخزين المزارع والبيئات . ويتعين أن يكون المختبر منيعاً ضد الأتربة ، التى يمكن أن تلوث المزارع والبيئات فى حالة انتشارها فى هواء المختبر . كما يجب أن تتوفر فى المختبر الأفران التى تستخدم فى تعقيم الزجاجيات ، وأوتوكليف لتعقيم البيئات ، ومختلف أنواع المطهرات السطحية (مثل هيبوكلوريد الصوديوم أو الكالسيوم ، وفوق أكسيد الأيدروجين ، ونترات الفضة ، وكلوريد الزنبق ، والمضادات الحيوية) ؛ لتطهير العينات النباتية سطحياً

وفيما يلى قائمة بأهم المعدات التى يجب أن تتوفر فى مختبر زراعة الأنسجة :

١- دوارق مخروطية بأحجام : ١٠٠ ، و ٢٥٠ أو ٥٠٠ مل ، و ١ ، و ٥ لترات .

٢- دوارق معيارية بأحجام : ٥٠٠ ،ل ، و ١ ، و ٢ ، و ٣ لترات .

٣- مخابير مدرجة بأحجام : ٢٥ ، و ٥٠ ، و ١٠٠ ، و ٥٠٠ مل ، ولتر واحد .

٤- ماصات مدرجة بأحجام : ١ ، و ٢ ، و ٥ ، و ١٠ مل .

٥- ماصات باستير .

٦- أوعية مزارع (أنابيب المزارع ، وزجاجات بأحجام مختلفة لها أغطية «بقلاووظ» ، وأطباق بترى) .

٧- «دلاء» بلاستيكية لنقع الزجاجيات قبل غسيلها .

٨- حجرة أو حيز خاص صغير مزود بالهواد الساخن : لتجفيف الأوعية ، والزجاجات بعد غسيلها .

٩- فرن لتجفيف الأوعية والزجاجيات ، وتعقيم الزجاجات .

١٠- سلال سلكية ، توضع بها أوعية البيئات الصغيرة فى أثناء تعقيمها ، والزجاجيات الصغيرة فى أثناء تجفيفها .

١١- جهاز لتقطير الماء .

١٢- أوعية بلاستيكية (بحجمى : ١٠ ، و٢٠ لترًا) ؛ لتخزين الماء المقطر .

١٣- ميزانان ؛ أحدهما لوزن الكميات الصغيرة ، والثانى لوزن الكميات الكبيرة نسبيًا .

١٤- قرص ساخن hot plate مع قلاب مغناطيسى magnetic stirrer ؛ لإذابة المركبات الكيمائية .

١٥- مضخة تفريغ exhaust pump لتسهيل عملية التعقيم بالترشيح .

١٦- قنينات بلاستيكية بأحجام مختلفة لتخزين المحاليل سائلة أو مجمدة .

١٧- ثلاجة لتخزين المركبات الكيميائية ، والمحاليل القياسية التى تحضر منها البيئات ، والعينات النباتية .

١٨- مجمدة لتخزين المحاليل القياسية لفترات أطول ، وبعض الإنزيمات ، ولبن جوز الهند ... إلخ .

١٩- جهاز توليد بخار steamer ؛ لإذابة الأجار والبيئات .

٢٠- جهاز قياس الـ pH لضبط pH البيئات والمحاليل .

٢١- أوتوكليف (جهاز تعقيم بالبخار تحت ضغط) ، أو قدور طهى تحت ضغط ؛ لتعقيم البيئات .

٢٢- قرص ساخن مُنَظم بالحرارة heat - regulated hot plate ؛ للتعقيم بالبخار فى قدور الطهى تحت ضغط .

٢٣- أغشية مرشحات تعقيم ومواسكها ؛ لتعقيم المحاليل بالترشيح .

٢٤- حقن بلاستيكية معقمة ؛ لغرض الاستعمال مع المحاليل المعقمة بالترشيح .

٢٥- عربة صغيرة مزودة بصوانٍ مناسبة ؛ لنقل البيئات والأدوات .

٢٦- حجرة محكمة الغلق Inoculation chamber يتجدد فيها الهواء بعد ترشيحه ؛ لاستخدامها فى كل العمليات التى تجرى فى ظروف معقمة .

٢٧- لمبة (شعلة) كحول spirit Lamp أو مصباح بنزن bunsen burner ؛ لتعقيم الأدوات باللهب .

٢٨- رشاشة صغيرة atomizer ؛ لرش الكحول داخل حجرة العزل والتلقيح .

٢٩- زجاجات ذات أغطية «بقلاووظ» ؛ لتعقيم العينات النباتية .

٣٠- حامل للأدوات المعقمة .

٣١- ملاقط كبيرة ذات أطراف غير حادة للزراعة والتلقيح .

٣٢- ملاقط ذات أطراف حادة ؛ لنزع بشرة الأوراق .

٣٣- إبر دقيقة للتشريح .

٣٤- مشارط لتقطيع الأنسجة النباتية .

٣٥- ملاوق لزراعة الأنسجة .

٣٦- مثقاب فلين لأخذ عينات أسطوانية من الأنسجة بحجم ثابت .

٣٧- مجهر ثنائى العينين binocular ؛ لتجزئ النباتات المجهرية الحجم .

٣٨- مكيفات هواء للمحافظة على درجة حرارة ثابتة لحجرة المزارع .

٣٩- هزاز للمزارع السائلة .

٤٠- مناخل من الصلب الذى لايصدأ ، ذات ثقوب بأقطار مختلفة ؛ لفصل تجمعات الخلايا التى تكون بأحجام مختلفة .

٤١- جهاز طرد مركزى صغير ، لترسيب الخلايا ؛ بغرض تحديد حجم النمو الخلوى ،

ولتنظيف البروتوبلازم .

٤٢- هيموسيتوميتر Haemocytometer لعدّ الخلايا .

٤٣- شرائح زجاجية ذات تجويف ؛ لتعليق المزارع السائلة فى أثناء فحصها .

٤٤- شرائح زجاجية عادية وأغطية شرائح ؛ لعمل تحضيرات مجهرية من الخلايات والأنسجة .

٤٥- مجهر لفحص الخلايا والأنسجة .

بيئات الزراعة

يجب أن تتوفر فى بيئات الزراعة Culture Media كافة الاحتياجات الغذائية والهرمونية التى تلزم الأنسجة وتميزها . وتختلف هذه الاحتياجات -كثيراً- ليس فقط من نوع نباتى إلى آخر ، وإنما أيضًا من جزء إلى آخر فى النبات الواحد ؛ وعليه .. فإنه يلزم عند العمل على نبات جديد أن يبدأ الباحث بتحديد البيئة المناسبة لهذا النبات . وقد أمكن التوصل إلى عدد من البيئات القياسية (جدول ١٧-١) ، التى قد يمكن استخدام أى منها مباشرة ، أو بعد إدخال التعديلات المناسبة عليها ؛ لتصبح أكثر ملاءمة للنوع النباتى الذى يعمل عليه المربى . ويبين جدول (١٧-٢) تركيز مختلف العناصر فى كل من البيئات التى جاء ذكرها فى جدول (١٧-١) .

ويفضل دائمًا تجريب ثلاثة مستويات - منخفض ، ومتوسط ، ومرتفع - من الأنواع الأربعة من المركبات التى تدخل فى تركيب بيئات الزراعة (وهى المركبات المعدنية ، والأوكسينات ، والسيتوكينينات ، والمغذيات العضوية) ؛ وبذا .. فإن التجربة الأولى لتحديد أفضل بيئة للزراعة .. يمكن أن تتضمن ٨١ معاملة (جدول ١٧-٣) . ويلى ذلك إجراء تجارب أخرى أصغر ؛ للتوصل إلى التركيز الأمثل من كل مركب ، مع استعمال أنواع مختلفة من الأوكسينات والسيتوكينينات . وإذا استخدم الآجار فى تحضير بيئات الزراعة (يكون استخدامه غالبا بنسبة ٠,٨٪ - ١,٠٪) .. تجب مراعاة ما يحتويه الآجار من عناصر (خاصة الكالسيوم والمغنيسيوم والعناصر الدقيقة) على صورة شوائب (جدول ١٧-٤) . هذا .. ويستخدم فى تحضير بيئات الزراعة محاليل قياسية ، يحتوى كل منها على تركيزات عالية نسبيًا لعدد من المركبات الكيميائية ، كما هو مبين فى جدول (١٧-٥) بالنسبة لبيئة Murashige & Skoog .

جدول (١٧ – ١) : البيئات القياسية المستخدمة في مزارع الأنسجة (أ)

المكونات	البيئات (الكميات بالجزء في المليون) (ب)						
	White's (جـ)	Heller's (د)	MS (هـ)	ER (و)	B (ز)	Mitsch's (ح)	NT (ط)
غير العضوية							
NH_4NO_3	—	—	1650	1200		720	825
KNO_3	80	—	1900	1900	2527.5	950	950
$CaCl_2.2H_2O$	—	75	440	440	150	—	220
$CaCl_2$	—	—	—		—	166	
$MgSO_4.7H_2O$	750	250	370	370	246.5	185	1233
KH_2PO_4	—	—	170	340		68	680
$(NH_4)_2SO_4$	—	—	—	—	134		—
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$	300	—	—			—	—
$NaNO_3$	—	600	—	-	—		-
Na_2SO_4	200	—	—		—		
$NaH_2PO_4.H_2O$	19	125	—	—	150		
KCl	65	750	—	—			
KI	0.75	0.01	0.83	-	0.75		0.83
H_3BO_3	1.5	1	6.2	0.63	3	10	6.2
$MnSO_4.4H_2O$	5	0.1	22.3	2.23	—	25	22.3
$MnSO_4.H_2O$	—	—	—	—	10		
$ZnSO_4.7H_2O$	3	1	8.6	—	2	10	
$ZnSO_4.4H_2O$	—	—	—	—			8.6
$Zn.Na_2.EDTA$	—	—	—	15		—	
$Na_2MoO_4.2H_2O$	—	—	0.25	0.025	0.25	0.25	0.25
MoO_3	0.001	—	—	—	—		
$CuSO_4.5H_2O$	0.01	0.03	0.025	0.0025	0.025	0.025	0.025
$CoCl_2.6H_2O$	—	—	0.025	0.0025	0.025		—
$CoSO_4.7H_2O$	—	—	—	—	—	-	0.03
$AlCl_3$	—	0.03	—	—	—		
$NiCl_2.6H_2O$	—	0.03	—	—	—	-	-
$FeCl_3.6H_2O$	—	1	—				
$Fe_2(SO_4)_3$	2.5	—	—	-	-	—	—
$FeSO_4.7H_2O$	—	—	27.8	27.8	—	27.8	27.8
$Na_2.EDTA.2H_2O$	—	—	37.3	37.3	—	37.3	37.3
Sequestrene 330Fe	—	—	—	—	28		
العضوية							
Inositol	—	—	100	-	100	100	100
Nicotinic acid	0.05	—	0.5	0.5	1	5	-
Pyridoxine HCl	0.01	—	0.5	0.5	1	0.5	
Thiamine HCl	0.01	—	0.1	0.5	10	0.5	1
Glycine	3	—	2	2	-	2	—
Folic acid	—	—	—	—	-	0.5	-
Biotin	—	—	—	—		0.05	
Sucrose	2%	—	3%	4%	2%	2%	1%
D-Mannitol	—	—	—	-	—	—	12.7%

(أ) لم تعط بيانات منظمات النمو وبيئات الزراعة الخاصة لحالات معينة .

(ب) أعطيت تركيزات المانيتول والسكروز كنسب مئوية .

(جـ) بيئة هوايت White .

(د) بيئة هلر Heller .

(هـ) بيئة مراشج وسكوج Murashige & Skoog .

(و) بيئة إيركسون Eriksson .

(ز) بيئة جامبورج Gamborg وآخرون .

(ح) بيئة نتشه Nitsch .

(ط) بيئة ناجاتا وتاكيبي Nagata & Takeba .

جدول (١٧ – ٢) : تركيز الأيونات في البيئات المبينة فى جدول (١٧ – ١) .

الأيونات	الوحدات	البيئات						
		White's	Heller's	MS	ER	B_5	Nitsch's	NT
NO_3	mmol l^{-1}	3.33	7.05	39.41	33.79	25.00	18.40	19.69
NH_4		—	—	20.62	15.00	2.00	9.00	10.30
Total N		3.33	7.05	60.03	48.79	27.03	27.40	29.99
P		0.138	0.90	1.25	2.50	1.08	0.50	5.00
K		1.66	10.05	20.05	21.29	25.00	9.90	14.39
Ca		1.27	0.51	2.99	2.99	1.02	1.49	1.50
Mg		3.04	1.01	1.50	1.50	1.00	0.75	5.00
Cl		0.87	11.08	5.98	5.98	2.04	2.99	3.00
Fe	µmol l^{-1}	12.50	3.70	100.00	100.00	50.10	100.00	100.00
S		4502.00	1013.50	1730.00	1610.00	2079.90	996.80	5236.50
Na		2058.00	7066.00	202.00	237.20	1080.00	202.00	202.00
B		24.20	16.00	100.00	10.00	48.50	161.80	100.00
Mn		22.40	0.40	100.00	10.00	59.20	112.00	100.00
Zn		10.40	3.40	30.00	37.30	7.00	34.70	36.83
Cu		0.04	0.10	0.10	0.01	0.10	0.10	0.10
Mo		0.007	—	1.00	0.1	1.00	1.00	1.00
Co		—	—	0.10	0.01	0.10	—	0.10
I		4.50	0.06	5.00	—	4.50	—	5.00
Al		—	0.20	—	—	—	—	—
Ni		—	0.10	—	—	—	—	—

جدول (١٧ – ٣) : المستويات المنخفضة ، والمتوسطة ، والمرتفعة لمختلف مكونات البيئات اللازمة لتحديد البيئة المثلى .

المكونات	مدي التركيزات (مللي مول / لتر)		
	منخفض	متوسط	مرتفع
مركبات معدنية			
NH_4NO_3	5	10	20
KNO_3	—	10	20
KH_2PO_4	0.1	—	—
NaH_2PO_4	—	1	2
KCl	1.9	—	—
$CaCl_2$	1	2	3
$MgSO_4$	0.5	1.5	3
H_3BO_3	0.01	0.05	0.15
$MnSO_4$	0.01	0.05	0.1
$ZnSO_4$	0.001	0.02	0.04
$CuSO_4$	0.00001	0.0001	0.0015
Na_2MoO_4	0.00001	0.0001	0.001
$CoCl_2$	0.0001	0.0003	0.001
KI	0.0005	0.0025	0.005
$FeSO_4$	0.01	0.05	0.1
$Na_2 \cdot EDTA$	0.01	0.05	0.1
أوكسين	0.0001	0.001	0.01
سيتوكاينين	0.0001	0.001	0.01
مركبات عضوية			
Inositol	0.1	0.3	0.6
Nicotinic acid	0.004	0.02	0.04
Pyridoxine HCl	0.0006	0.003	0.006
Thiamine HCl	0.0001	0.002	0.04
Biotin	0.00004	0.0002	0.001
Folic acid	0.0005	0.001	0.002
D-Ca-Pantothenate	0.0002	0.001	0.005
Riboflavin	0.0001	0.001	0.01
Ascorbic acid	0.0001	0.001	0.01
Choline chloride	0.0001	0.001	0.01
L-Cysteine HCl	0.01	0.05	0.12
Glycine	0.0005	0.005	0.05
Sucrose	6	60	120

جدول (١٧ – ٤) : المحتوي الكيميائي لأنواع أجار Difco المستخدمة في مزارع الأنسجة .

المكونات	Bacto-agar	Noble-agar	Purified-agar
Ash	4.5%	2.6%	1.75%
Calcium	0.13%	0.23%	0.27%
Barium	0.01%	0.01%	0.01%
Silica	0.19%	0.26%	0.09%
Chloride	0.43%	0.18%	0.13%
Sulphate	2.54%	1.90%	1.32%
Nitrogen	0.17%	0.10%	0.14%
Iron	11.00 mg l^{-1}	11.00 mg l^{-1}	11.00 mg l^{-1}
Magnesium	285.00 mg l^{-1}	260.00 mg l^{-1}	695.00 mg l^{-1}
Copper	5.00 mg l^{-1}	7.50 mg l^{-1}	20.00 mg l^{-1}

جدول (١٧ – ٥) : المحاليل القياسية المستخدمة في تحضير بيئة مراشيج وسكوج Murashige & Skoog (أ) .

المكونات	الكمية (مجم / لتر)
المحلول القياسي الأول	
NH_4NO_3	33 000
KNO_3	38 000
$CaCl_2.2H_2O$	8800
$MgSO_4.7H_2O$	7400
KH_2PO_4	3400
المحلول القياسي الثاني	
KI	166
H_3BO_3	1240
$MnSO_4.4H_2O$	4460
$ZnSO_4.7H_2O$	1720
$Na_2MoO_4.2H_2O$	50
$CuSO_4.5H_2O$	5
$CoCl_2.6H_2O$	5
المحلول القياسي الثالث (ب)	
$FeSO_4.7H_2O$	5560
$Na_2EDTA.2H_2O$	7460
المحلول القياسي الرابع	
Inositol	20 000
Nicotinic acid	100
Pyridoxine HCl	100
Thiamine HCl	100
Glycine	400

(أ) لتحضير لتر من البيئة .. يستخدم ٥٠ مل من المحلول القياسي الأول ، و٥ مل من كل من المحاليل القياسية الثاني ، والثالث ، والرابع .

(ب) أذب كلاً من المركبين – على انفراد – في ٤٥٠ مل ماء مقطراً مع التسخين والتقليب ، ثم اخلط المحلولين ، وعدل الـ pH إلي ٥,٥ ثم أضف ماء مقطراً ، إلي أن يصل الحجم النهائي إلي لتر .

ويبين جدول (١٧-٦) التركيب الكيمائي ، والوزن الجزيئي لمختلف المركبات التي تدخل في تركيب البيئات المغذية ؛ كما يبين جدول (١٧-٧) الوزن الذرى لمختلف العناصر التي تدخل في تكوين هذه المركبات . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Ohojwani & Razdan (١٩٨٣) ، و Dixon (١٩٨٥) .

مزارع الخلايا

يُعد عزل خلايا مفردة أولى الخطوات في عمل مزارع الخلايا Cell Cultures . وتجرى هذه الخطوة إما بالوسائل الميكانيكية ، وإما إنزيميًا من الأعضاء النباتية الكاملة ، وإما تؤخذ الخلايا من نسيج كالوس callus tissue نام من أسطح معقمة لأجزاء نباتية مزروعة ويلى ذلك .. زراعة الخلايا من المعلق . وتعد طريقة برجمان Bergmann (شكل ١٧-١٠) أكثر الطرق شيوعًا لزراعة الخلايا المفردة . ويراعى فيها أن يكون تركيز الخلايا المفردة في البيئة السائلة ضعف التركيز النهائي المطلوب عند الزراعة . ويبين شكل (١٧-٢) خطوات إنتاج نبات دخان من خلية مفردة ، بينما يعطى جدول (١٧-٨) تركيب بيئتين مناسبتين لزراعة خلايا مفردة من النسيج الوسطى (الميزوفيل) للورقة .

وتتوقف طبيعة النمو في مزارع الخلايا على تركيز الهرمونات في بيئة النمو ؛ حيث قد يكون النمو متميزاً Differentiated ، أو غير متميز Undifferentiated . ويُعنى بالنمو المتميز تكوين نموات خضرية ، أو جذور ، أو كليهما ، بينما يُعنى بالنمو غير المتميز تكوين كتلة من الخلايا تسمى كالس Callus .

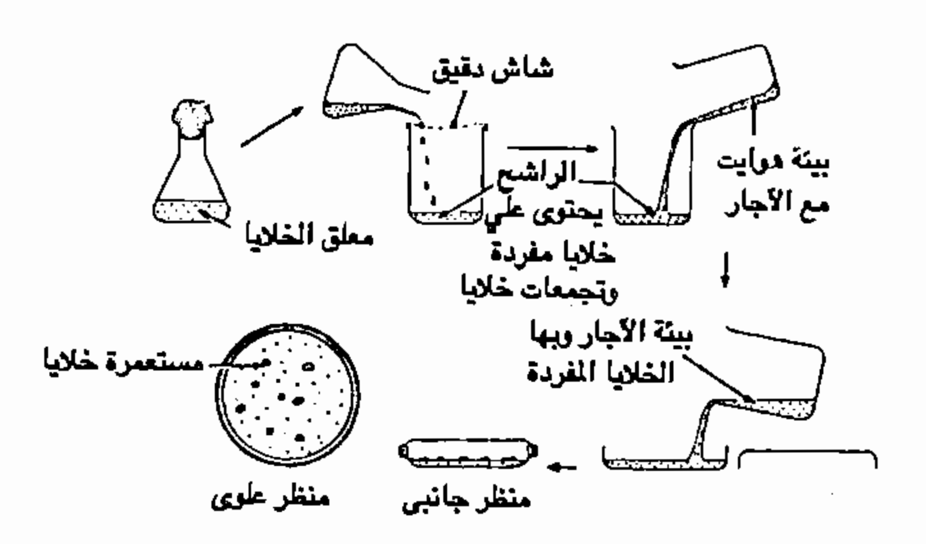
ينتج الكالس - عادة - من أى نسيج نباتي متميز (مثل الأوراق ، والسيقان والجذور) ؛ بوضع الجزء النباتي الذى تؤخذ منه الخلايا (explant) في بيئة تحتوى على تركيز مرتفع نسبيًا من الأوكسين ، وتركيز منخفض نسبيًا من السيتوكينين ، حيث يتكون الكالس حينئذ ، ويمكن أن يستمر في النمو بعد ذلك ، إما على صورة كتل متعددة الخلايا multicellular masses في البيئات الصلبة ، وإما على شكل تجمعات صغيرة من الخلايا small cell aggregates في البيئات السائلة الدوارة (أى التي توضع على أجهزة تتحرك بأوعية المزارع حركة دورانية) . ومع استعمال تركيزات مرتفعة من السيتوكينينات وتركيزات منخفضة من الأوكسينات في بيئة النمو .. فإنه يمكن - أحياناً - تحفيز تكوين

جدول (١٧ – ٦) : الوزن الجزيئي للمركبات الشائعة الاستخدام في بيئات مزارع الأنسجة .

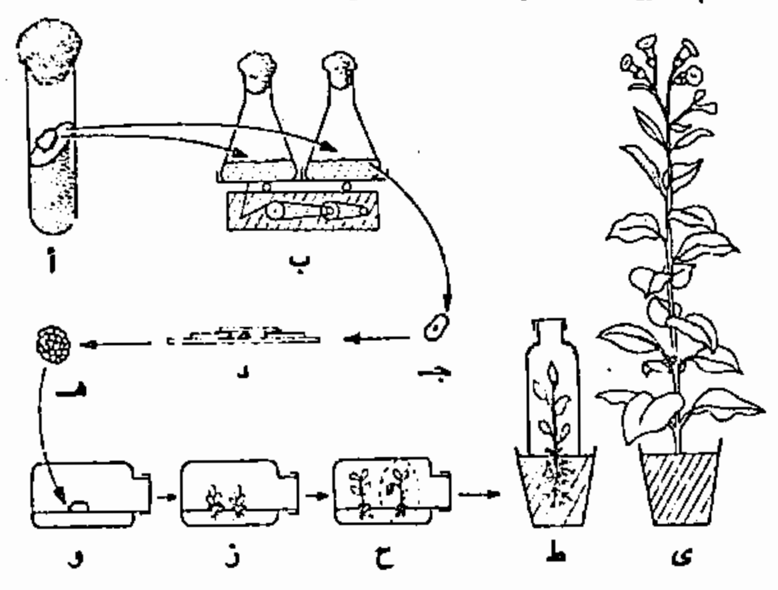
المركب	التركيب الكيميائي	الوزن الجزيئي
العناصر الكبرى		
Ammonium nitrate	NH_4NO_3	80.04
Ammonium sulphate	$(NH_4)_2SO_4$	132.15
Calcium chloride	$CaCl_2 \cdot 2\,H_2O$	147.02
Calcium nitrate	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4\,H_2O$	236.16
Magnesium sulphate	$MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$	246.47
Potassium chloride	KCl	74.55
Potassium nitrate	KNO_3	101.11
Potassium dihydrogen *ortho*-phosphate	KH_2PO_4	136.09
Sodium dihydrogen *ortho*-phosphate	$NaH_2PO_4 \cdot 2\,H_2O$	156.01
العناصر الصغرى		
Boric acid	H_3BO_3	61.83
Cobalt chloride	$CoCl_2 \cdot 6\,H_2O$	237.93
Cupric sulphate	$CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$	249.69
Manganous sulphate	$MnSO_4 \cdot 4\,H_2O$	223.01
Potassium iodide	KI	166.01
Sodium molybdate	$Na_2MoO_4 \cdot 2\,H_2O$	241.95
Zinc sulphate	$ZnSO_4 \cdot 7\,H_2O$	287.54

جدول (١٧ – ٧) : الأوزان الذرية التي تدخل في تكوين بيئات مزارع الأنسجة .

العنصر	الرمز	الوزن الذري
Aluminium	Al	26.98
Boron	B	10.82
Calcium	Ca	40.08
Carbon	C	12.011
Chlorine	Cl	35.457
Cobalt	Co	58.94
Copper	Cu	63.54
Hydrogen	H	1.008
Iodine	I	126.91
Iron	Fe	55.85
Magnesium	Mg	24.32
Manganese	Mn	54.94
Molybdenum	Mo	95.95
Nickel	Ni	58.71
Nitrogen	N	14.008
Oxygen	O	16.00
Phosphorus	P	30.975
Potassium	K	39.10
Sodium	Na	22.991
Sulphur	S	32.066
Zinc	Z	65.38



شكل (١٧ - ١) : طريقة Bergmann لزراعة الخلايا المفردة .

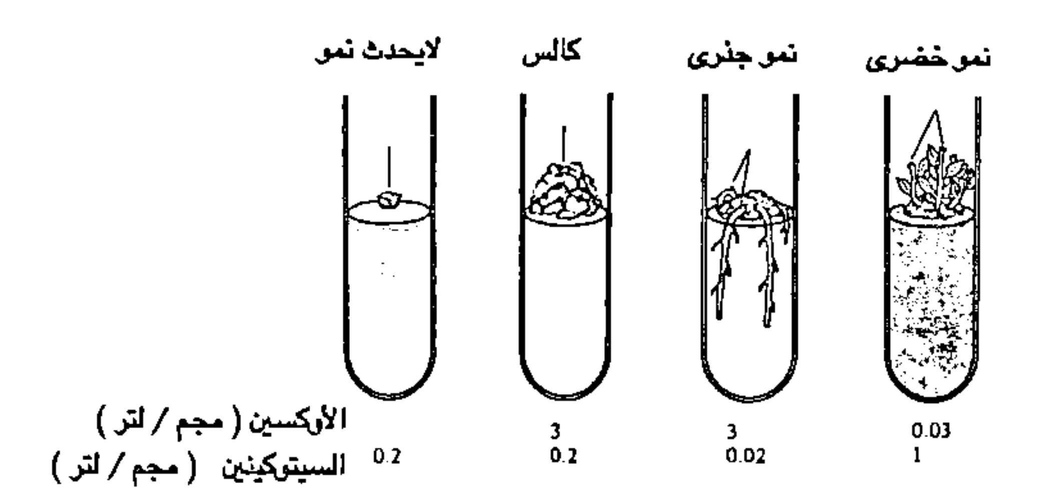


شكل (١٧ - ٢) : تكوين نبات دخان من خلية مفردة : (أ) كالس نام من قطعة صغيرة من النبات أخذت من النخاع ، (ب) عملية نقل قطعة صغيرة من الكالس إلى بيئة سائلة فى دوارق زجاجية ووضعها على هزاز ، (جـ) تفكك الكالس إلى خلايا مفردة ، (د) نقل الخلية المفردة جـ من الدورق ووضعها فى نقطة من بيئة الزراعة فى حيز صغير خاص microchamber ، (هـ) نسيج صغير تكون من الخلية المفردة من خلال عدة انقسامات متتالية ، (و) عملية نقل النسيج هـ إلى بيئة شبه صلبة حيث ينمو إلى كالس كبير ، (ز ، ح) تتميز النباتات ، (ط ، ى) تنمو النباتات إلى مرحلة النضج عند نقلها إلى أصص .

جدول (١٧ – ٨) : تركيب بيئتين مناسبتين لزراعة خلايا مفردة من ميزوفيل الأوراق .

المكونات	البيئة والكميات (مجم / لتر)	
	Rossini	Joshi and Ball
KNO_3	950	—
KCl	—	750
NH_4NO_3	725	—
$NaNO_3$	—	600
$MgSO_4 \cdot 7\,H_2O$	187	250
$CaCl_2$	169	—
$CaCl_2 \cdot 6\,H_2O$	—	112
KH_2PO_4	69	—
$NaH_2PO_4 \cdot 2\,H_2O$	—	141
NH_4Cl	—	5.35
$MnSO_4 \cdot 4\,H_2O$	12.5	—
$MnCl_2 \cdot 4\,H_2O$	—	0.036
H_3BO_3	5	0.056
$ZnSO_4 \cdot 4\,H_2O$	5	—
$ZnCl_2$	—	0.15
$NaMoO_4 \cdot 2\,H_2O$	0.125	0.025
$CuSO_4 \cdot 5\,H_2O$	0.0125	—
$CuCl_2 \cdot 2\,H_2O$	—	0.054
$CoCl_2$	—	0.02
$FeSO_4 \cdot 7\,H_2O$	13.9	—
$FeCl_3 \cdot 6\,H_2O$	—	0.5
Na·EDTA	18.6	—
Disodium salt of ethylene dinitrilotetraacetic acid	—	0.8
Glycine	2	—
Nicotinic acid	5	—
Pyridoxine HCl	0.5	—
Thiamine HCl	0.5	—
Biotin	0.05	—
Folic acid	0.5	—
Casein hydrolysate (acid hydrolysate, acid and vitamin free)	—	400
m-Inositol	100	—
BAP	0.1	—
Kinetin	—	0.1
2,4-D	1	1
Sucrose	10 000	20 000
pH	5.0	?

نمـوات متـميـزة إلـى سـيقـان وأوراق وجـذور شكل (١٧-٣) ، أو تكـوين أجنـة عـرضـية تنـمو بـذورها إلـى نبـاتات كـاملة بعـد ذلك . ولمزيد من التفاصيل عن مـزارع الخـلايـا والتمـيـز مـنها .. يراجـع Helgeson (١٩٨٠) ، و Evans وآخرون (١٩٨١) .



شكل (١٧ – ٣) : تأثير تركيز الأوكسينات والسيتوكينينات – فى بيئة النمو – على تكوين الكالس ، وتميز النموات الجذرية والخضرية .

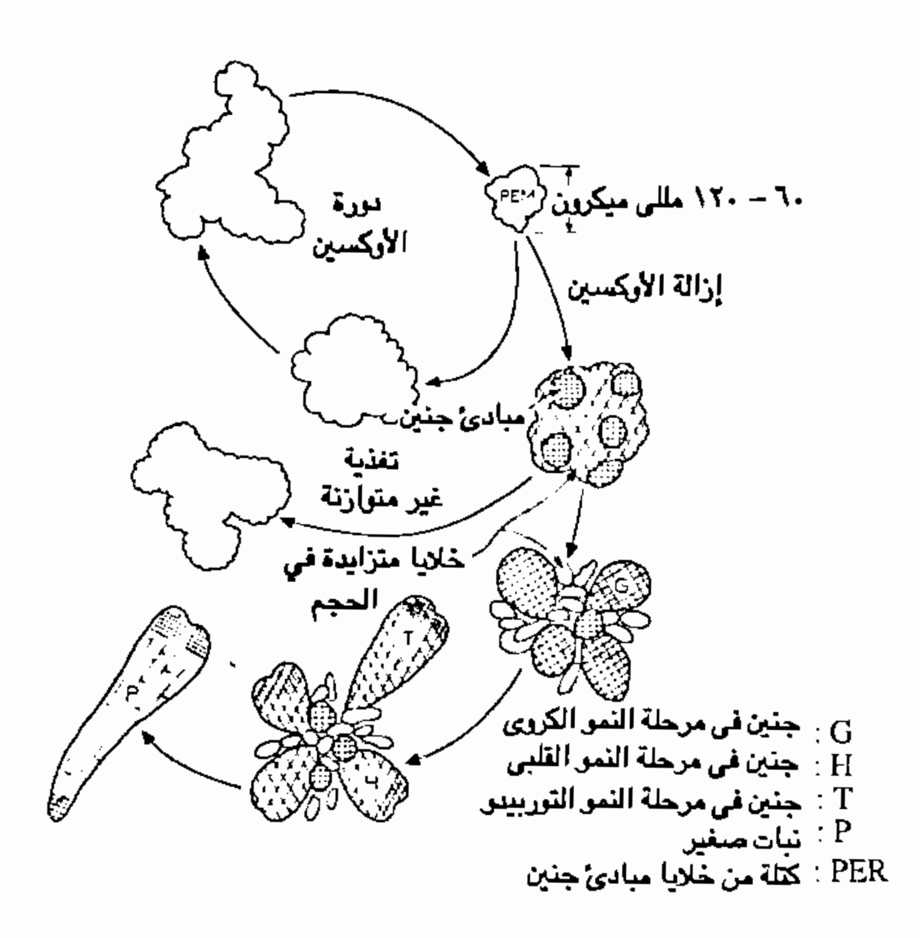
تكوين الأجنة الجسمية

تتكون الأجنة الجسمية Somatic Embryos ، أو Embryoides فى مزارع الخلايا عندما تتوفر لها شروط معينة ، تتعلق بمنظمات النمو (خاصة الأوكسينات والسيتوكينينات) ، مع توفر مصدر النيتروجين ، وبعض العوامل الأخرى ؛ ففى مزارع خلايا الجزر (شكل ١٧-٤) يتكون الكالس عندما تكون البيئة غنية بالأوكسين (يستعمل عادة الأوكسين ٢ ، ٤ -د بتركيز ٠,٥ - ١,٠ جزءاً فى المليون) ؛ وإذا نقلت تجمعات من هذه الخلايات الميرستيمية إلى بيئة ذات محتوى شديد الانخفاض من الأوكسين (حوالى ٠,٠١ - ٠,١ جزءاً فى المليون) ، أو خالية تماماً منه .. فإنه تتميز فيها أجنة كاملة .

ويبدو أن وجود الأوكسين فى البيئة الأولى ضرورى لتكوين الأجنة فى البيئة الثانية ؛ لأن الأنسجة التى تبقى دائماً فى بيئة خالية من الأوكسين لاتتكون بها أجنة . أما مصدر النيتروجين فى البيئة .. فيفضل أن يكون على صورة مختزلة ؛ مثل كلوريد الأمونيوم

NH_4Cl منفردة ، أو مع نترات البوتاسيوم KNO_3 . ومردّ ذلك أن تكوين الأجنة يتطلب حداً أدنى من أيون الأمونيا NH_4^+ داخل الخلايا ؛ وهو ما لايتحقق إلاّ إذا توفر أيون الأمونيا بتركيز منخفض (٢,٥ مللى مول/لتر) ، أو أيون النترات NO_3^- بتركيز مرتفع (٦٠ مللى مول/لتر) فى البيئة . ومن الشروط الأخرى الضرورية لتميز الأجنة توفر تركيز عالٍ من البوتاسيوم (٢٠ مللى مول/لتر) فى البيئة . وألا يزيد تركيز الأكسجين الذائب عن ١,٥ مجم/ لتر ؛ لأن التركيز الأعلى من ذلك يشجع على تكوين الجذور .

وتجدر الإشارة إلى أن الأجنة المتكونة فى مزارع الخلايا تبقى على اتصال سيتوبلازمى مع الخلايا المجاورة لها فى البيئة خلال المراحل الأولى لتكوين الأجنة ، ولاتنفصل عنها إلا فى مراحل متأخرة حينما يصبح الجنين مكوناً من عدة خلايا . وتكمل



شكل (١٧ - ٤) : تخطيط يبين مراحل تكوين الأجنة الجسمية فى مزارع الخلايا المعلقة للجزر .

الأجنة نموها وتنبت مباشرة فى نفس البيئة ، إلا أن الأنواع -التى تحتاج بذورها إلى المعاملة بالبرودة لكى تنبت- تتطلب نفس المعاملة ؛ حتى تنبت أجنتها الجسمية المتكونة فى البيئات . هذا .. ويطلق على القدرة الموروثة فى الخلايا النباتية لإنتاج نباتات كاملة – حتى بعد أن تكون هذه الخلايا قد تميزت نهائياً فى جسم النبات الذى أخذت منه – اسم Totipotency .

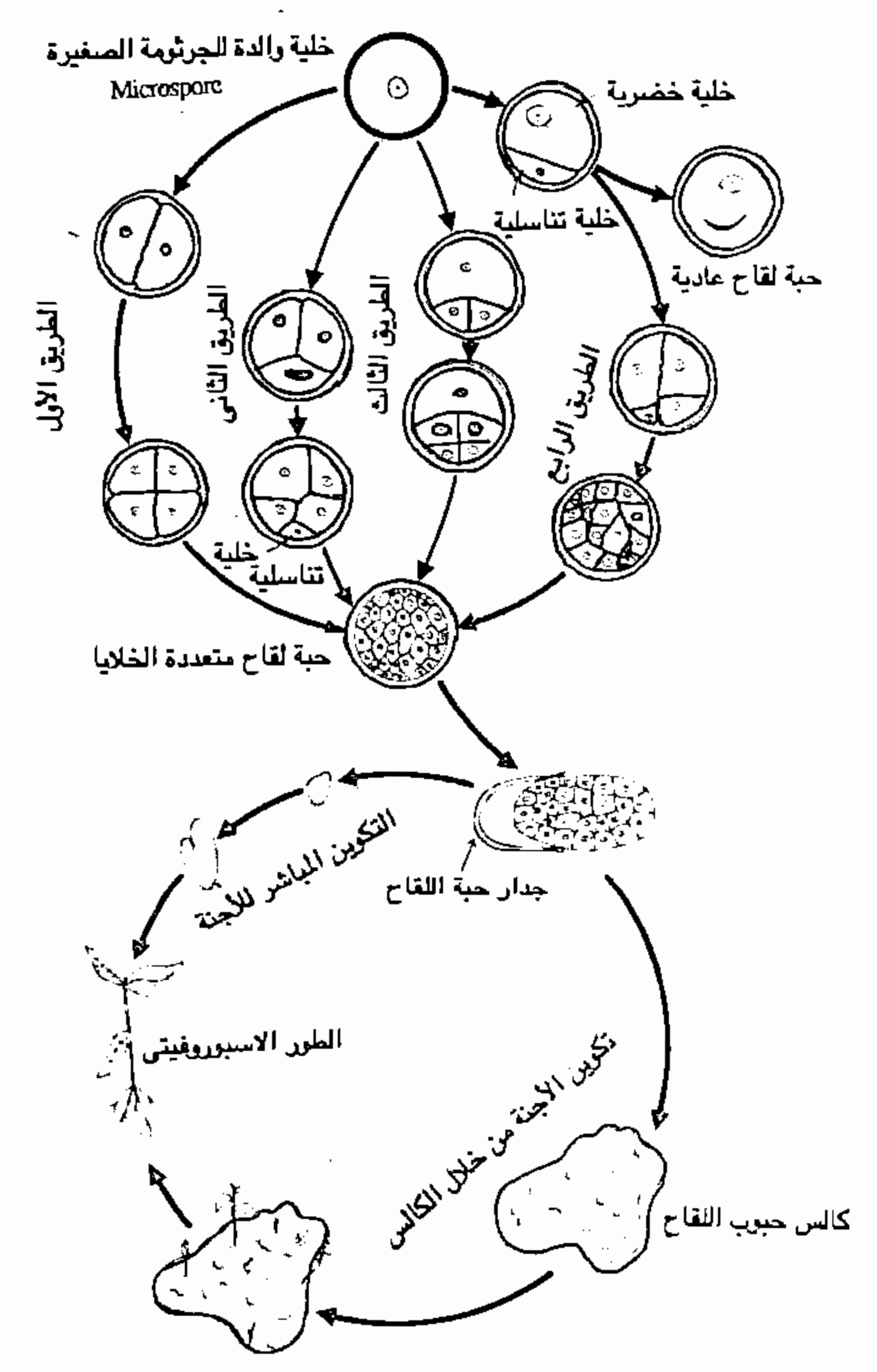
هذا .. وقد أمكن إنتاج أجنة جسمية فى أنواع أخرى من المزارع لعدة أنواع محصولية ، ومن أمثلتها ما يلى :

المحصول		العضو أو النسيج النباتى المستخدم كمصدر للجنين الجسمى
الشيف	*Allium schoenoprasum*	النواتان المساعدتان فى الكيس الجنينى
الرجلة	*Portulaca oleracea*	الإندوسبرم
الشليك البرى	*Fragaria vesca*	النواتان المساعدتان
الفلفل من النوع	*Capsicum frutescens*	الجنين
الفلفل	*C. annuum*	المتوك
الهندباء	*Cichorium endivia*	الجنين
الكوسة	*Cucurbita pepo*	السويقة الجنينة العليا – الفلقات
الهليون	*Asparagus officinalis*	السويقة الجنينية العليا – الأوراق – المتوك –الساق – الجنين – البروتوبلازم – الخلية الوالدة للجرثومة الصغيرة
الطماطم	*Lycopersicon esculentum*	الخلية الوالدة للجرثومة الصغيرة
الطماطم البرية	*L. pimpinellifolium*	الخلية الوالدة للجرثومة الصغيرة
الجزر	*Daucus carota*	الجنين – نسيج الكالس – السويقة الجنينية العليا – الأوراق – أعناق الأوراق – اللحاء – البروتوبلازم – الجذور – السيقان
الفينوكيا	*Foeniculum vulgare*	الساق – الجنين

ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Tisserat وآخرون (١٩٧٩) .

مزارع المتوك

تفيد مزارع المتوك Anther Culture (أو anther androgenesis) فى إنتاج نباتات أحادية من حبوب اللقاح .. إما من خلال تكوين الأجنة Pollen Embryogenesis ، وإما من خلال الكالس Pollen Callusing (شكل ١٧-٥) . ويجب أن تؤخذ المتوك من نباتات حديثة الإزهار ، ويكون ذلك فى مرحلة معينة من تكوين حبوب اللقاح قبل تفتح الزهرة ؛ لذا .. فإنه تفضل دائماً زراعة النباتات التى تؤخذ منها المتوك فى ظروف بيئية متحكم



شكل (١٧ – ٥) : تخطيط يبين نشأة النباتات الأحادية من حبوب اللقاح فى مزارع المتوك . يمكن أن تسلك الخلية الوالدة للجرثومة الصغيرة ، أيا من الطرق الأربعة المبينة فى الشكل لتكوين حبة لقاح متعددة الخلايا ، وهى التى يمكن أن تنتج بدورها جنيناً مباشرة ، أو تنتج الطور الأسبوروفيتى من خلال النمو الكالوسى .

فيها ، ليمكن الربط - إلى حد ما - بين المظهر الخارجي للبرعم الزهرى ، والمرحلة المناسبة لتكوين حبوب اللقاح . وتُطَهَّر البراعم الزهرية المنتخبة سطحيًا بأحد المطهرات المناسبة ، ثم تفصل منها الأسدية كاملة (المتوك مع خيوطها) ، وتوضع فى طبق بترى معقم . يسحق أحد المتوك فى صبغة أسيتوكارمن لاختبار مرحلة تكوينه ، فإذا كان فى المرحلة المناسبة .. فإن بقية المتوك تفصل من خيوطها ، وتوضع أفقيًا على بيئة الزراعة .

ويجب توخى الحرص حتى لاتحدث أية أضرار للمتوك فى أثناء تداولها ؛ لأن تجريحها يحفز - غالباً - تكوين كالوس من خلايا جدر المتوك .. وهى خلايا ثنائية . تحضَّن مزارع المتوك غالباً فى الضوء (٥٠٠٠ - ١٠٠٠٠ لكس lux/م٢) لمدة ١٢ - ١٨ ساعة على درجة حرارة ٢٨°م بالتبادل مع فترة إظلام ، مدتها ٦ - ١٢ ساعة على حرارة ٢٢°م . تتحول جدر المتوك - تدريجيًا - إلى اللون البنى ، ثم تتفتح فى خلال ٣ - ٨ أسابيع ؛ بسبب الضغط الداخلى للكالس المتكون من حبوب اللقاح ، أو بسبب النباتات الصغيرة Plantlets التى تنمو منها . تفصل النباتات المفردة أو النموات الخضرية المتكونة عن الكالس ، بعد أن يصل طولها إلى نحو ٣-٥ سم ، وتنقل إلى بيئة مناسبة للنمو الجذرى . ويلى ذلك .. نقل النباتات التى تكونت جذورها إلى أصص صغيرة معقمة .

هذا .. ولاتوجد بيئة واحدة تناسب زراعة متوك جميع الأنواع النباتية . ويبين جدول (١٧-٩) تركيب ثلاث من البيئات التى تستخدم فى مزارع المتوك فى النجيليات ، علماً بأن بيئة البطاطس -١ تحتوى على ٢٠٪ مستخلصاً مائياً لدرنات البطاطس ، بينما تحتوى بيئة البطاطس - ٢ على ١٠٪ من هذا المستخلص . وتعد البيئة الثالثة (N6) أفضل من البيئتين الأخريين . ولمزيد من التفاصيل عن مزارع المتوك وحبوب اللقاح .. يراجع Nitsch (١٩٧٥) ، و Sink & Padmanabhan (١٩٧٧) ، و Sunderland (١٩٨٠) ، وChu (١٩٨٢) ، و Dunwell (١٩٨٥) .

مزارع الإندوسبرم

يعد الإندوسبرم نسيجًا ثلاثياً (٣ن) ، يتكون من تزاوج إحدى النواتين التناسليتين الأحاديتين فى حبة اللقاح مع النواتين القطبيتين الأحاديتين فى الكيس الجنينى لتكوين نواة الإندوسبرم الابتدائية ؛ لذا .. فإن مزارع الإندوسبرم Endosperm Culture تفيد فى إنتاج نباتات ثلاثية المجموعة الكروموسومية ، ويتم ذلك إما بتكوين براعم من

جدول (١٧ – ٩) : تركيب ثلاث بيئات لزراعة متوك النجيليات .

المكونات	البيئات (مجم / لتر)		
	N6	البطاطس – ١	البطاطس – ٢
KNO_3	2830	—	1000
$(NH_4)_2SO_4$	463	—	100
KH_2PO_4	400	—	200
KCl	—	—	35
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	185	—	125
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	166	—	—
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	—	—	100
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	27.2	—	—
Na·EDTA	37.2	—	—
Fe·EDTA	—	10^{-4} mol l^{-1}	10^{-4} mol l^{-1}
H_3BO_3	1.6	—	—
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	4.4	—	—
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	1.5	—	—
KI	0.8	—	—
Thiamine HCl	1.0	1.0	1.0
Pyridoxine HCl	0.5	-	—
Niacin	0.5	-	—
Glycine	2.0		—
2,4-D	2.0	1.0	1.5
Kinetin	—	0.5	0.5
Potato extract	—	20%	10%
Sucrose	50 g	90 g	90 g
Agar	10 g	6 g	6 g

الإندوسبرم مباشرة ، وإما بعد تكوين نسيج كالس ؛ أما تكوين الأجنة .. فلم يتأكد بعد فى مزراع الإندوسبرم .

ويتعين عزل الإندوسبرم الذى يُراد زراعته بعد مدة معينة من التلقيح ، تختلف من نوع إلى آخر ؛ فهى – مثلا – ٨ –١١ يوماً فى الذرة ، و ٤ – ٧ أيام فى الأرز ؛ بينما لايصلح الإندوسبرم المكتمل النمو للزراعة . وقد نجح إنتاج النباتات الثلاثية من مزارع الإندوسبرم فى عدد محدود نسبياً من النباتات ، منها – على سبيل المثال – الأرز ، والكمثرى ، والبقدونس ، وبعض أنواع الجنس *Citrus* . ولمزيد من التفاصيل عن مزارع الإندوسبرم .. يراجع Johri وآخرون (١٩٨٠) .

التلقيح فى مزارع البويضات ومزارع المبايض

يتسخدم المصطلح *In vitro* Pollination لوصف جميع الحالات التى توضع فيها حبوب اللقاح – مباشرة – على البويضات المفصولة فى بيئة صناعية (*In vitro* Ovular Pollination .. أو ما أطلق عليه اسم التلقيح فى أنبوبة الاختبار(Test - Tube Fertilization) ، أو على البويضات المفصولة مع مشيمتها فى بيئة صناعية (*In Vitro* Placental Pollination) أو على مياسم الأزهار ، التى فصلت أمتعتها ، ووضعت فى بيئة صناعية (*In vitro* Stigmatic Pollination) . وتسمى المزارع فى الحالتين الأولى والثانية باسم مزارع البويضات Ovule Culture ، بينما يطلق على النوع الثالث اسم مزارع المبايض Ovary Culture . وتفيد هذه المزارع فى التغلب على المشاكل السابقة للإخصاب فى التلقيحات البعيدة .

تخصى الأمهات قبل تفتح الأزهار بيومين ، وتكيس ، ثم تنقل الأزهار المخصية إلى المختبر بعد موعد تفتحها الطبيعى بيوم أو يومين ؛ حيث يزال الكأس والتويج ، ويغمس المتاع وعنق الزهرة – إن وجد – سريعاً فى ٧٠٪ كحولاً ، ثم يطهران سطحياً بأحد المطهرات المناسبة ، ويغسلان جيداً بماء مقطر معقم . يُزال بعد ذلك كل من الميسم والقلم وجدار المبيض .

تستخدم المشيمة الكاملة التى تحمل البويضات فى حالات التلقيح المشيمى Placental Pollination . وقد تقطع المشيمة إلى أجزاء ، يحمل كل منها عدداً من البويضات ، كما قد تزال المشيمة كلية فى حالات تلقيح البويضات Ovular Pollination . أما فى حالات التلقيح الميسمى Stigmatic Pollination .. فإن متاع الزهرة يبقى باكمله ، ويعقم سطحه الخارجى جيداً ، على ألا يلامس المطهر سطح الميسم . وربما لايحتاج متاع الزهرة إلى التعقيم إن كان مغلفا بصورة جيدة ، كما فى الذرة .

وتجمع متوك غير متفتحة من الآباء ، وتحفظ فى طبق بترى معقم إلى أن تتفتح ؛ حيث تنقل حبوب اللقاح بحرص ، وتوضع على البويضات المزروعة ، أو على مشيمتها ، أو على مياسم المبايض المزروعة حسب الحالة .

هذا .. ويكون الهدف النهائى من هذه المزارع هو الحصول على بذور مكتملة التكوين

من مزارع البويضات ، سواء أكانت البويضات بمشيمة ، أم كانت دون مشيمة ، والحصول على ثمار -كاملة ناضجة تحتوى على بذور مكتملة التكوين من مزارع المبايض . وقد أمكن إنتاج بذور عدد من الهجن النوعية بواسطة مزارع البويضات بنوعيها ، كما أمكن الحصول على ثمار ناضجة فى البيئات الصناعية من مزارع المبايض لعدد من المحاصيل الزراعية ، منها : الشليك ، والطماطم ، والدخان ، والفاصوليا ، والجركن ، إلا أن الثمار كانت أصغر من نظيرتها التى تتكون طبيعيًا على النبات .

تعد البيئة المناسبة للزراعة أهم العوامل التى تتحكم فى نجاح مزارع البويضات والمبايض .. علماً بأن البيئة يجب أن تناسب إنبات حبوب اللقاح ، إلى أن يتم الإخصاب ، ثم تطور البويضات المخصبّة إلى بذور كاملة تحتوى على أجنة مكتملة التكوين . هذا .. ولايعد إنبات حبوب اللقاح فى البيئات الصناعية مشكلة ؛ لأنها تنبت بسهولة ، كما يكون إنبات حبوب اللقاح طبيعيًا على الميسم وداخل القلم - بعيداً عن بيئة الزراعة - فى مزارع المبايض . أما نمو البذور .. فإن له متطلبات خاصة ؛ ويبين جدول (١٧-١) تركيب واحدة من أكثر البيئات استعمالاً فى مزارع البويضات الملقحة وهى بيئة نتشه المحورة . ولمزيد من التفاصيل عن مزارع البويضات والمبايض .. يراجع Zenkteler (١٩٨٠) .

جدول (١٧ - ١٠) : تركيب واحدة من أكثر البيئات استعمالاً في مزارع البويضات الملقحة

المكونات	الكميات (مجم / لتر)
$CaNO_3 \cdot 4H_2O$	600
KNO_3	125
KH_2PO_4	125
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	125
$CuSO_4 \cdot 6H_2O$	0.025
Na_2MoO_4	0.025
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.5
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	3.0
H_3BO_3	0.5
$FeC_6O_7H_5 \cdot 5H_2O$	10.00
Glycine	7.5
Ca-Pantothenate	0.25
Pyridoxine-HCl	0.25
Thiamine-HCl	0.25
Niacin	1.25
Sucrose	60 000
Agar	7000

مزارع الأجنة

استخدمت مزارع الأجنة Embryo Cultures من قِبَل مربى النباتات منذ أكثر من نصف قرن . وتفيد هذه المزارع فى التغلب على المشاكل اللاحقة للإخصاب فى التلقيحات البعيدة . وتعد عملية فصل الأجنة الصغيرة ، وتحديد بيئة الزراعة المناسبة أهم عاملين يتحكمان فى نجاح مزارع الأجنة . كما يجب فصل الأجنة قبل أن تبدأ فى التدهور degeneration والاختفاء فى حالات الهجن النوعية البعيدة التى يحدث فيها عدم توافق بين الجنين النامى والإندوسبرم . وتتحدد المراحل المناسبة لفصل الأجنة بعدد الأيام من التلقيح . أما البيئة المناسبة .. فهى تختلف من نوع إلى آخر . ويبين جدول (١٧-١١) أربع بيئات ، استخدمت فى زراعة أجنة الشعير ، وهى تحتوى - بالإضافة إلى ما هو مبين فى الجدول - على المكونات التالية :

١- البيئة B - II : تحتوى على ١ جم حامض ماليك مذاب فى ٥٠ مل ماء ، مع تعديل الـ pH إلى ٥,٠ باستعمال أيدروكسيد الأمونيوم .

٢- البيئة C - 17 : تحتوى على ٥٠٠ مجم حامض ستريك مذاب فى ٥٠ مل ماء مع تديل الـ pH إلى ٥,٢ باستعمال أيدروكسيد الأمونيوم ؛ و ٢٠٠ مجم من سترات ثلاثى البوتاسيوم تضاف إلى البيئة مباشرة ، مع تعديل pH البيئة إلى ٥,٥ ؛ باستعمال أيدروكسيد البوتاسيوم المعقم بالترشيح .

٣- البيئة C - 21 : تحتوى على ٥٠ مجم حامض ستريك مذابة فى ٥٠ مل ماء ، مع تعديل الـ pH إلى ٥ باستعمال أيدروكسيد الأمونيوم ، وإضافتها إلى البيئة النهائية ، مع تعديل الـ pH فيها إلى ٥,٥ ؛ باستعمال أيدروكسيد البوتاسيوم المعقم بالترشيح ؛ و ٢٥٠ مجم سترات ثلاثى البوتاسيوم ، تضاف إلى البيئة النهائية مع تعديل الـ pH إلى ٥,٥ .

٤- البيئة C - 45 : تحتوى على ٣٠٠ مجم حامض ماليك مذابة فى ٥٠ مل ماء يحتوى على ٣٠٠ مجم حامض ستريك مع تعديل الـ pH إلى ٥,٠ باستعمال أيدروكسيد الأمونيوم .

ونظراً لأن الأجنة تكون محاطة بأنسجة المبيض ؛ لذا .. فإنها لاتكون معرضة للتلوث ، ولاتحتاج إلى تعقيم ويكتفى بتطهيرها سطحياً . ويحتاج فصل الأجنة الصغيرة إلى

جدول (١٧ – ١١) : تركيب بعض البيئات المستخدمة في مزارع أجنة الشعير .

المكونات	البيئات (مجم / لتر)			
	B-II	C-17	C-21	C-45
عناصر كبرى				
KNO_3	—	300	300	900
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	740	250	—	400
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	740	325	300	300
$(NH_4)_2SO_4$	—	—	—	60
$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	—	100	—	75
KCl	750	150	300	—
KH_2PO_4	910	150	500	170
$Ca(NO_3)_2$	—	—	500	300
NH_4NO_3	—	200	—	500
عناصر صغرى				
KI	—	0.10	—	—
H_3BO_3	0.5	0.5	15.0	1.0
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	3.0	0.5	—	5.0
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.5	0.25	—	5.0
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.025	0.012	—	0.25
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.025	0.012	—	0.012
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.025	0.012	—	0.012
Ferric citrate	10	3	20	20
Fe-EDTA	—	17.5	10	28
فيتامينات				
Nicotinamide	—	—	—	1.0
Thiamine HCl	0.25	0.25	10	10
Pyridoxine HCl	0.25	0.25	—	1.0
Inositol	50	50	150	100
Ca-pantothenate	0.25	0.25	—	—
Glycine	—	0.75	—	—
Ascorbic acid	—	0.5	—	1.0
أحماض أمينية				
Glutamine	400	—	—	600
Glutamic acid	—	150	300	—
Alanine	50	30	—	100
Cysteine	20	—	—	—
Arginine	10	20	50	—
Leucine	10	10	—	—
Phenylalanine	10	20	—	—
Tyrosine	10	—	—	—
Aspartic acid	—	30	100	100
Proline	—	50	50	—
Valine	—	10	—	—
Serine	—	25	25	50
Threonine	—	10	—	100
Lysine	—	10	—	—
Sucrose	34 000	60 000	45 000	45 000
Agar (Difco)	6000	—	—	—
pH	5	5.5	5.5	5.8

الاستعانة بالمجهر . ويكتمل نمو الأجنة بعد زراعتها ، ثم تنمو معطية نباتات صغيرة ، يتم نقلها بعناية إلى أصص معقمة . وجدير بالذكر أن الأجنة الصغيرة لاتكمل تكوينها ، وإنما تنمو إلى كالس فى بعض الحالات ، ثم تتميز فيه بعد ذلك نباتات صغيرة . يحدث ذلك – على سبيل المثال – فى الذرة إذا زرعت الأجنة بعد حوالى ١٨ يوما من التلقيح .

وقد تمكن Harberd (١٩٦٩) من زراعة أجنة بعض الهجن النوعية فى الجنس *Brassica* بطريقة سهلة ، إذ قام بحصاد مبايض الأزهار الملقحة فى الوقت المناسب ، وعقَّمها سطحيًا ، وقطعها طوليًا ، ثم نقلها إلى بيئة مغذية على جهاز هزاز . أدت الحركة الدائمة للبيئة المغذية إلى خروج عدد من الأجنة من المبايض ؛ حيث نمت فى البيئة المغذية بدرجة مماثلة لما يحدث عند اتباع الطرق الأخرى الأكثر صعوبة .

وأمكن كذلك زراعة أجنة الهجين النوعى *Lycopersicon esculentum* x *L. peruvianum* قبل اكتمال تكوينها بزراعة البذور غير المكتملة التكوين المحتوية على هذه الأجنة فى بيئة خاصة . أنتجت البذور نسيج كالس ، تميزت فيه نباتات كانت ثنائية أو رباعية المجموعة الكروموسومية ؛ مما يدل على أنها لم تنشأ من نسيج الإندوسبرم الثلاثى . كما استدل على أن هذه النباتات كانت هجنا نوعية من صفات النوع *L. peruvianum* الذى استخدم كمصدر لحبوب اللقاح ، التى ظهرت فى الهجن ؛ مثل : وجود صبغة الأنثوسيانين (حيث استخدمت سلالة من الطماطم خالية من الأنثوسيانين كأم فى التهجين) ، وشكل الأوراق ، والأزهار ، والثمار ، بالإضافة إلى عقم النباتات الهجين (Thomas & Pratt ١٩٨٢) . ولمزيد من التفاصيل عن مزارع الأجنة .. يراجع Raghavan (١٩٨٠) .

مزارع البروتوبلازم

تعد مزارع البروتوبلازم Protoplast Culture (مزارع الخلايا بدون جدرها السيلولوزية) ضرورية لكل من عملية دمج البروتوبلازم Protoplasm fusion – عند الرغبة فى إجراء تهجينات نوعية بعيدة – وعملية إدخال أجزاء غريبة من الحامض النووى دى إن أى DNA ، أو عضيّات خلوية Cell Organells أو بكتيريا ، أو فيروسات معينة فى حالات

الهندسة الوراثية . ومن الضرورى - لتحقيق ذلك - عزل البروتوبلازم عن الجدار الخلوى ، وزراعته فى بيئة تسمح بتكاثره ، ثم بتميز نباتات كاملة منه .

يفصل الجدار الخلوى السيليلوزى عن البروتوبلازم بسهولة ؛ بواسطة إنزيم السليوليز Cellulase الذى يحضر من مزارع الفطر *Myrothecium verrucaria* . وقد ظهرت منذ عام ١٩٦٨ تحضيرات تجارية من إنزيمى ماسيروزيم macerozyme ، وسليوليز ، واستخدمت بتعريض قطع من النسيج النباتى للإنزيم الأول - ماسيروزيم - لفصل الخلايا عن بعضها ، ثم إضافة الإنزيم الثانى - سليوليز - لهضم الجدر الخلوية ، ولكن تفضل إضافتهما معًا فى آن واحد .

وقد ظهرت بعد ذلك عدة تحضيرات تجارية أخرى من الإنزيمات التى تستخدم فى مزارع البروتوبلازم (جدول ١٧-١٢) . وأمكن بواسطة هذه الإنزيمات فصل البروتوبلازم عن الجدار الخلوى فى أية خلية نباتية لم تتلجنن جدرها ، أيًا كان النسيج الذى أخذت منه . ويعد إنزيم بكتنيز Pectinase ضروريًا لتحليل الصفيحة الوسطى وفصل الخلايا عن بعضها .

تعد الأوراق حديثة التكوين أفضل مصادر الخلايا لمزارع البروتوبلازم . يُطَهر النسيج النباتى المستعمل سطحيًا ، ثم تسلخ بشرة الورقة ، أو يقطع الجزء النباتى المستخدم إلى أجزاء صغيرة ، قبل وضعه فى محلول الإنزيمات الهاضمة للجدر الخلوية . وتفضل أن تكون المعاملة بالإنزيمات الهاضمة تحت تفريغ ، لإسراع عملية تخلل محلول الإنزيمات بين الخلايا . كما يفيد -أيضًا- تحريك الأنسجة المعاملة بوضعها فى جهاز هزاز فى أثناء المعاملة . وتتراوح فترة المعاملة بالإنزيمات من نصف ساعة إلى ٢٠ ساعة .

تتشابه بيئات مزارع البروتوبلازم مع بيئات مزارع الخلايا إلى حد كبير ، وتفضل البيئات السائلة ، مع مراعاة الدقة فى ضبط الضغط الآسموزى للبيئة . يبدأ تمثيل الجدر الخلوية حول البروتوبلازم بمجرد فصل الإنزيمات عنه . ويظهر أول الدلائل على تكوين الجدر السيليلوزية بعد نحو ٢ - ٤ أيام من زراعة البروتوبلازم ، بينما تبدأ معظم الانقسامات الخلوية بعد ٧ - ١٤ يوماً من الزراعة ، ويؤدى ذلك إلى تكوين نسيج كالس . ويبين جدول (١٧-١٣) تركيب إحدى البيئات المستخدمة فى مزارع البروتوبلازم .

جدول (١٧ - ١٢) : بعض الإنزيمات المتوفرة تجارياً ، والتي تستخدم في عزل البروتوبلازم .

الإنزيم	الكائن المنتج للإنزيم	الشركة المنتجة
Cellulase R-10	*Trichoderma viride*	Kinki Yokult Mfg. Co. Ltd., 8-12, Shingikancho, Nishinomiya, Japan
Meicelase-P	*Trichoderma viride*	Meiji Seiki Kaisha Ltd., No. 8, 2-Chome, Kyobashi, Chuo-Ku, Japan
Hemicellulase H-2125	*Rhizopus* sp.	Sigma, München
Macerozyme R-10	*Rhizopus* sp.	Kinki Yokult Mfg. Co. Ltd.
Pectinase (purified)	*Aspergillus niger*	Sigma Chem. Co., P.O. Box 14508, St. Louis, MO 63178, U.S.A.
Pectolyase Y23	*Aspergillus japonicus*	Seishin Pharm. Co. Ltd. 9-500-1, Nagareyama, Nagareyama-shi, Chiba-ken, Japan
Pectinol	*Aspergillus* sp.	Rohm and Haas Co. Independence Hall West, Philadelphia, PA 19105, U.S.A.
Zymolyase	*Arthrobacter luteus*	Sigma Chem. Co.
Driselase	*Irpex lactes*	Kyowa Hakko Kogyo Co. Ltd., Tokyo, Japan

وعلى الرغم من كثرة وتنوع الأنواع النباتية التى أعطت نمو كالس فى مزارع البروتوبلازم .. إلا أن معظم الأنواع التى حدث فيها تميز (أى نمت فيها النباتات من مزارع البروتوبلازم) كانت من العائلة الباذنجانية . وتشمل القائمة التى تميزت فيها نباتات من مزارع البروتوبلازم : الفلفل ، والبطاطس ، والباذنجان ، والدخان ، والبيتونيا ، وأنواع أخرى قليلة من العائلات المركبة ، والصليبية ، والنجيلية ، والزنبقية ، والبقولية وغيرها .

ولمزيد من التفاصيل عن مزارع البروتوبلازم .. يراجع Vasil (١٩٧٦) ، و Hanke (١٩٨٠) ، و Vasil & Vasil (١٩٨٠) Power & Chapman (١٩٨٥) .

جدول (١٧ – ١٢) : بيئة لزراعة البروتوبلازم .

المكونات	الكمية (مجم / لتر)	المكونات	الكمية (مجم / لتر)
Mineral salt			
NH_4NO_3	600	KI	0.75
KNO_3	1900	H_3BO_3	3.00
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	600	$MnSO_4 \cdot H_2O$	10.00
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	300	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	2.00
KH_2PO_4	170	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.25
KCl	300	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.025
Sequestrene 330 Fe[c]	28	$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.025
Sugars			
Glucose	68 400	Mannose	125
Sucrose	125	Rhamnose	125
Fructose	125	Cellobiose	125
Ribose	125	Sorbitol	125
Xylose	125	Mannitol	125
Organic acids (adjusted to pH 5.5 with NH_4OH)			
Sodium pyruvate	5	Malic acid	10
Citric acid	10	Fumaric acid	10
Vitamins			
Inositol	100	Biotin	0.005
Nicotinamide	1	Choline chloride	0.5
Pyridoxine-HCl	1	Riboflavin	0.1
Thiamine-HCl	10	Ascorbic acid	1
D-Calcium pantothenate	0.5	Vitamin A	0.005
Folic acid	0.2	Vitamin D_3	0.005
p-Aminobenzoic acid	0.01	Vitamin B_{12}	0.01
Hormones	Soybean x barley	Soybean x pea or *N. glauca*	
2,4-D	1	0.2	
Zeatin	0.1	0.5	
NAA	—	1	
Vitamin-free casamino acid[d]	125 mg l^{-1}		
Coconut water (from mature fruits; heated to 60°C for 30 min and filtered)	10 ml l^{-1}		

مـزارع القـمة الخضرية المـيرسـتيـمية

يستفاد من مزارع القمة الخضرية الميرستيمية Meristem Shoot Tip Culture فى إنتاج نباتات خالية من الإصابات الفيرسية ، ويعد ذلك أمرًا بالغ الأهمية فى المحاصيل التى تتكاثر خضريًا ، والتى تنتقل فيها الفيروسات تلقائيا مع الأجزاء الخضرية المستخدمة فى التكاثر .

وبرغم أن النباتات قد تكون مصابة جهازيًا بالفيروسات .. إلا أن القمة النامية تكون غالباً خالية تماماً من الفيروسات ، أو لاتحتوى إلا على قليل جدًا منها ؛ ويرجع ذلك إلى الأسباب الآتية :

١- خلو القمة الميرستيمية من الأنسجة الوعائية التى يكون انتقال الفيروسات فيها سريعًا ، بينما يكون انتقالها خلال الروابط البروتوبلازمية أبطأ من سرعة نمو القمة النامية .

٢- يكون النشاط الأيضى فى الخلايا الميرستيمية عاليًا بدرجة يقل معها تكاثر الفيرس فيها .

٣- تكون نظم المقاومة لتكاثر الفيروسات أعلى فى الأنسجة الميرستيمية مما فى أى نسيج آخر .

٤- قد يثبط التركيز العالى للأوكسين الطبيعى فى القمة النامية نشاط الفيروسات فيـها .

ولهذه الأسباب كلها .. فإن فصل القمة الميرستيمية وزراعتها فى بيئة صناعية يؤدى إلى إنتاج نباتات خالية من الإصابات الفيرسية . وقد استخدمت هذه التقنية تجاريًا ، لإنتاج نباتات خالية من الفيرس من عديد من الأنواع النباتية ؛ مثل : الشليك ، والبطاطس ، والبطاطا ، والروبارب ، والكاسافا ، والكرسون المائى ، واليام ، وقصب السكر ، والتفاح ، والموز ، وعديد من نباتات الزينة التى تتكاثر خضريًا .

ويفضل استعمال مصطلح مزارع القمة الميرسيتيمة Meristem - Tip Culture فى حالة استعمال القمة الميرستيمية فى الزراعة (شكل ١٧-٦) ، وهى التى يكون عرضها - عادة - حوالى ١٠٠ ميكرون ، وطولها حوالى ٢٥٠ ميكروناً . وبرغم أن هذا الجزء ينتج



شكل (١٧ – ٦) : القمة الميرستيمية كما تبدو بعد ١٢ ساعة من زراعتها .

- غالباً – نباتات خالية من الفيرس .. إلا أنه قد يصعب فصله ؛ لذا .. تستعمل – أحياناً– القمة النامية كلها ، وهى التى يكون عرضها –عادة ١٠٠ ميكرون ، وطولها ٥٠٠ ميكرون . ويطلق على المزارع فى هذه الحالة اسم Shoot - Tip Culture ، وهى تنتج كذلك نباتات خالية من الفيرس فى أغلب الأحيان (شكل ١٧–٧) . تفصل القمم النامية تحت المجهر . ويعتبر فصل القمة النامية سريعًا – دون إحداث أضرار بها – من أهم مقومات نجاح مزارع القمة الميرستيمية . هذا .. بالإضافة إلى أهمية بيئة الزراعة التى يجب أن تكون محفزة لتكوين الجذور والأوراق من القمم الميرستيمية المزروعة . ويبين جدول (١٧–١٤) تركيب عدد من البيئات التى استخدمت فى مزارع القمة الميرستيمية . وبرغم سهولة الزراعة فى بيئة شبه صلبة تحتوى على الآجار .. إلا أنها تحفز تكوين الكالس فقط ، وهو أمر غير مرغوب فيه فى هذه المزارع .

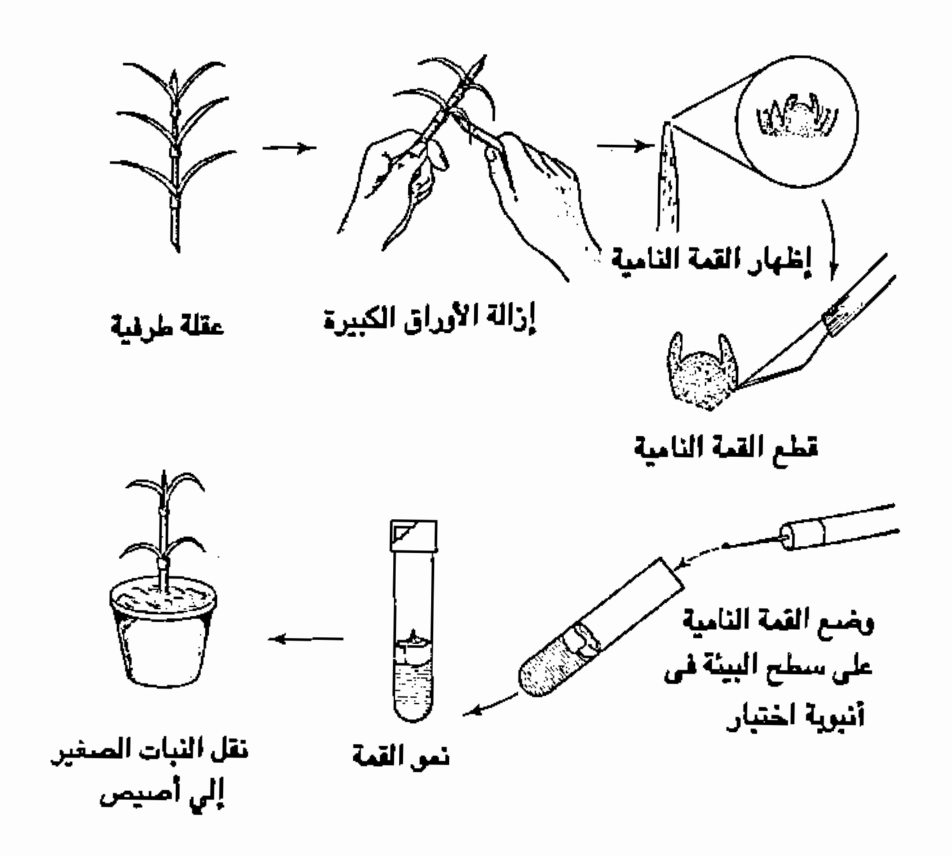
وتزداد فرصة تميز النباتات فى المزرعة كلما ازداد حجم القمة الميرستيمية المزروعة ؛ ذلك لأن القمم الصغيرة تنتهى غالباً بتكوين جذور وكالس ، وربما لاتعطى جذوراً ألبتة إن كانت صغيرة جداً ، فى حين أن القمم الخضرية الكبيرة ربما تكون خالية من الفيرس ؛ لـذا .. فإن القاعدة هى أن تكون القمم الميرستيمية المزروعة صغيرة بالقدر الذى يضمن خلوها من الفيرس ، وكبيرة بالقدر الذى يسمح بتميزها إلى نباتات مكتملة النمو .

وقد وجد أن النباتات المصابة جهازيًا بالفيروسات تعطى عند زراعة أى من أنسجتها المصابة خلايا كالس ، تختلف فى محتواها من الفيرس ، وأمكن الحصول على نباتات خالية من الفيرس من خلايا الكالس السليمة فى هذه المزارع . كذلك .. وجد أن نسبة النباتات الخالية من الفيرس كانت أعلى بكثير من النباتات التى تميزت من الكالس فى مزارع القمة الميرستيمية عما فى النباتات التى تميزت من القمة الميرستيمية مباشرة . وربما يرجع السبب فى ذلك إلى أن سرعة تكاثر الفيرس تكون أقل من سرعة تكاثر الخلايا فى نسيج الكالس . هذا .. إلا أن كثيراً من الأنواع النباتية الهامة لم تتميز فيها نباتات من نسيج الكالس ، كما أن هذا النسيج لايكون ثابتاً وراثيًا .

ولمزيد من التفاصيل عن مزارع القمة الميرستيمية .. يراجع Langhans وآخرون (١٩٧٧) ، و Ingram (١٩٨٠) .

مزارع الإكثار الدقيق

يستفاد من مزارع الإكثار فى إنتاج سلالات خضرية تحتوى على عشرات الآلاف من النباتات الصغيرة خلال فترة وجيزة . ويفضل دائمًا استخدام القمة الميرستيمية ؛ لكى تكون النباتات المنتخبة خالية من الفيروسات . أما إن لم يكن ذلك ضرورياً .. فإنه يمكن استعمال أجزاء صغيرة من ساق النبات ، تحتوى كل منها على عقدة وبرعم جانبى (nodal segments) ؛ ذلك لأن البراعم الجانبية المفصولة بمفردها من الأشجار البالغة لاتنمو فى معظم الحالات ، بينما يساعد النسيج الأمى الموجود مع البرعم الإبطى فى هذه العقل (nodal cuttings) على نمو البرعم . وتتحمل البراعم الجانبية عمليات التعقيم أفضل من البراعم الطرفية . ويمكن استعمال أى جزء نباتى آخر فى التكاثر الدقيق إذا أمكن دفعه لتكوين براعم عرضية ، سواء تكونت من خلال نسيج الكالس ، أم بدونه .



شكل (١٧ – ٧) : زراعة القمة النامية Shoot Tip Culture فى القرنفل .

وتستخدم لهذا الغرض أجزاء من الجذور ، والسيقان ، والأوراق .. ويتوقف الاختيار على قدرة العضو النباتى على تكوين براعم عرضية .

يحدث التكاثر الدقيق فى المزارع بواحدة من ثلاث طرق ، وهى :

١– من خلال الكالس :

إن القدرة الفائقة للخلايا النباتية على التكاثر فى المزارع وإنتاج نسيج كالس .. تعطى فرصة كبيرة لإنتاج أعداد كبيرة من النباتات من هذه الخلايا لدى حدوث التميز النباتى بها. ويحدث التميز إما بتكوين الجذور والنموات الخضرية مباشرة ، وإما من خلال تكون الأجنة الجسمية ، ويعد الإكثار من خلال نسيج الكالس أسرع طرق الإكثار الدقيق ، إلا أن

جدول (١٧ – ١٤) : تركيب بعض البيئات التي استخدمت ، من قبل باحثين مختلفين في مزارع القمة الخضرية الميرستيمية ، لأنواع مختلفة من النباتات .

المكونات	البيئات (مجم / لتر)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
NH_4NO_3	—	—	—	—	—	60	60	—
KNO_3	125	125	125	200	125	—	—	125
$(NH_4)_2SO_4$	—	—	—	—	1000	—	—	—
KCl	—	—	—	—	1000	80	80	—
$CaCl_2\cdot 2H_2O$	—	500	500	—	—	—	—	—
$Ca(NO_3)_2\cdot 4H_2O$	500	—	—	800	500	170	170	500
$MgSO_4\cdot 7H_2O$	125	125	125	200	125	240	240	125
KH_2PO_4	125	125	125	200	125	40	40	125
$FeCl_3\cdot 6H_2O$	—	—	—	—	1	—	—	—
Fe-citrate	—	—	—	—	5	5	—	—
$Fe_2(SO_4)_3$	—	25	—	—	—	—	27.8	25
Na_2-EDTA	—	—	—	—	—	—	37.3	—
$MnSO_4\cdot 4H_2O$		0.8		—	0.1	—	22.3	1
$ZnSO_4\cdot H_2O$		0.04		0.2	1	0.05	8.6	0.05
$NiCl_2\cdot 6H_2O$		0.025		0.3	—	—	—	0.025
$MnCl_2\cdot H_2O$		—		1.8	—	0.4	—	-
$CoCl_2\cdot 6H_2O$	(10 drops of Berthelot soln.)[b]	0.025	(10 drops of Berthelot soln.)[b]	—	—	—	0.025	0.025
$CuSO_4\cdot 5H_2O$		0.025		0.08	0.03	0.05	0.025	0.025
$AlCl_3$		—		—	0.03	—	—	—
$H_2MoO\cdot H_2O$		—		0.02	—	0.02	—	—
$Na_2MoO_4\cdot 2H_2O$		—		—	—	—	0.025	—
KI		0.25		—	0.01	—	0.83	0.25
H_3BO_3		0.025		2.8	1	0.6	6.2	0.025
Myo-inositol	0.1	0.001	0.1	—	100	0.1	0.1	—
Ca-pantothenate	10	0.001	10	—	1	10	10	—
Nicotinic acid	1	—	1	5	1	1	1	—
Pyridoxine-HCl	1	—	1	1	1	1	1	—
Thiamine-HCl	—	0.001	—	1	1	1	1	1
Biotin	0.1	0.001	0.01	—	0.01	0.01	0.01	—
Cystein	—	0.001	10	—	1	10	10	—
Adenine	—	—	—	—	0.1	5	5	—
$AdSO_4$	—	—	—	—	—	—	—	8
Casein hydrolysate	—	—	1	—	—	1	1	—
Sucrose	20 000	—	20 000	30 000	20 000	—	—	—
Glucose	—	40 000	—	—	—	10 000	30 000	40 000

هذه الطريقة غير مفضلة ؛ لما هو معروف عن الكالس من عدم ثباته الوراثى ؛ حيث تظهر به حالات مختلفة من التضاعف الكروموسومى ، كما أن الكالس لم تتميز به نموات نباتية فى عديد من المحاصيل الهامة إلى الآن ؛ وتعد هذه الطريقة هى الوحيدة المستخدمة لإكثار أنواع مهمة مثل الموالح ، والنخيل ، والقهوة .

٢- من خلال تكوين البراعم العرضية :

على الرغم من أن النباتات التى تتميز من أنسجة الكالس تعد عرضية المنشا .. إلا أنه يعنى بالبراعم العرضية .. تلك التى تتكون من العضو النباتى مباشرة ، دون أن يفصل بينهما نسيج كالس . وتتكاثر أعداد كبيرة جداً من النباتات الاقتصادية بهذه الطريقة .

٣- من خلال تحفيز التفرع الجانبى :

يتم تحفيز النمو الجانبى فى المزارع بتوفير السيتوكينين بها بتركيز معين ، إما مع الأوكسين ، وإما بدونه . ويؤدى استمرار توفر السيتوكينين فى المزرعة إلى نمو البراعم الجانبية التى تتكون فى القمة الميرستيمية التى تنمو من البراعم المزروعة (أى من الـ nodal segments) ، ثم تنمو البراعم الجانبية التى تتكون فى القمم الميرستيمية الجديدة .. وهكذا يؤدى استمرار هذه العملية - لعدة مرات - إلى تكون كتلة من النموات الجديدة . وبرغم توقف تكاثر المزرعة الواحدة بهذه الطريقة بعد فترة .. إلا أنه يمكن استمرار التكاثر - فى هذه المرحلة - بنقل أجزاء من المزرعة إلى مزارع أخرى جديدة ؛ وبذلك .. يمكن استمرار التكاثر إلى مالانهاية ، إلى درجة أنه يمكن - على سبيل المثال - إنتاج من ١٥-٢٥ مليون نبات شليك من نبات واحد فى العام ؛ لأن كل نبات يكون قادرا على إنتاج ١٠ نباتات جديدة كل أسبوعين .

تعد عملية التجذير ضرورية فى الحالات التى لاتنمو فيها النباتات من الأجنة الجسمية ، بينما توجد الجذور- طبيعياً - فى حالة التميز من الجنين الجسمى الذى يحتوى - بطبيعته - على جذير . ولإحداث التجذير .. يلزم نقل النموات المتكونة إلى بيئة أخرى ، تختلف فى مكوناتها الهرمونية عن بيئة التكاثر . ويكون نقل النموات الخضرية - عادة - إلى هذه البيئات وهى بطول حوالى ١ سم ، ثم تنقل النباتات بعد أن تتكون جذورها إلى أصص معقمة بحرص تام ، وتتعهد بالرعاية إلى أن تكبر ،

حيث تنقل بعد ذلك إلى البيوت المحمية .

ويبين جدولا (١٧-١٥) ، و (١٧-١٦) تركيب بيئات الإكثار الدقيق لكل من نخيل التمر ، والشليك على التوالى -كمثالين- علما بأن البيئات المناسبة تختلف كثيراً من نبات إلى آخر .

ولمزيد من التفاصيل عن أساسيات مزارع الإكثار الدقيق .. يراجع Hussey (١٩٨٠ ، ١٩٨٣) ، و Wetherell (١٩٨٢) ، و Hartmann & Kester (١٩٨٣) .

جدول (١٧ - ١٥) : بيئات الإكثار الدقيق لنخيل التمر .

المكونات	البيئة (مجم / لتر)	
	من خلال الكالس	من خلال الأجنة الجسمية
مركبات غير عضوية		
NH_4NO_3	1650	1650
KNO_3	1900	1900
$CaCl_2$	322	322
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	181	181
KH_2PO_4	170	170
$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$	170	170
KI	0.83	0.83
H_3BO_3	6.2	6.2
$MnSO_4 \cdot H_2O$	16.9	16.9
$ZnSO_4 \cdot H_2O$	8.6	8.6
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0.25	0.25
$CuSO_4$	0.016	0.016
$CoCl_2 \cdot 6H_2O$	0.025	0.025
FeNa · EDTA	36.7	36.7
مركبات عضوية		
Inositol	100	100
Thiamine HCl	0.4	0.4
منظمات نمو		
2,4-D	100	—
2-ip	3	—
فحم منشط eutralized charcoal	3000	3000
آجار	0.8%	0.8%
سكروز	3%	3%

جدول (١٧ – ١٦) : بيئات الإكثار الدقيق للشليك .

المكونات	البيئات (مجم / لتر)		
	التهيئة	التكاثر	التجذير
مركبات غير عضوية			
KNO_3	250	250	250
$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$	250	250	250
KH_2PO_4	250	250	250
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4\ H_2O$	1000	1000	1000
KI	0.83	0.83	0.83
H_3BO_3	6.2	6.2	6.2
$MnSO_4 \cdot 4\ H_2O$	16.9	16.9	16.9
$ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$	8.6	8.6	8.6
$Na_2MoO_4 \cdot 2\ H_2O$	0.25	0.25	0.25
$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$	0.025	0.025	0.025
$CoCl_2 \cdot 6\ H_2O$	0.025	0.025	0.025
$FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$	27.8	27.8	27.8
$Na_2 \cdot EDTA$	37.3	37.3	37.3
مركبات عضوية			
Inositol	100	100	100
Nicotinic acid	0.5	0.5	0.5
Pyridoxine HCl	0.5	0.5	0.5
Thiamine HCl	0.1	0.1	0.1
Glycine	2	2	2
منظمات نمو			
BAP	0.1	1	—
IBA	1	1	1
GA_3	0.1	0.1	—
جلوكوز	4%	4%	4%
آجار	0.8%	0.8%	0.8%

مصادر إضافية

لمزيد من التفاصيل عن أساسيات مزارع الأنسجة .. يمكن الرجوع إلى المصادر التالية التي تتناول الموضوع بشكل عام : Paul (١٩٧٠) ، و Murashige (١٩٧٤) ، وButcher & Ingram (١٩٧٦) ، و Amer . Soc . Hort . Sci (١٩٧٧) ، و Ingram & Helgeson (١٩٨٠) ، و Sala وآخرون (١٩٨٠) ، و Vasil (١٩٨٠) ، وThorpe (١٩٨١)، و Reinert & Yeoman (١٩٨٢) ، و Bhojwani & Razdan (١٩٨٣) ، و Mamtell & Smith (١٩٨٣) ، و Dixon (١٩٨٥ أ ، ١٩٨٥ ب) .

الفصل الثامن عشر

أوجه الاستفادة من مزارع الأنسجة في تربية النبات

أصبحت مزارع الأنسجة بأنواعها المختلفة (الخلايا والأنسجة ، والأعضاء) من الأدوات المهمة التي يستفيد منها مربي النبات في تحقيق أهداف برامج التربية . وقد درج المربي على الاعتماد على كثير من العلوم ، مثل الوراثة ، وفسيولوجيا النباتات ، وأمراض النبات ... إلخ (يراجع لذلك الفصل الأول) . ويعد علما زراعة الأنسجة ، والهندسة الوراثية أحدث علمين في هذه السلسلة من العلوم ، التي تعتمد عليها تربية النبات . ويعد هذا الفصل مكملاً للفصل السابق من حيث كونه يتناول الجوانب التطبيقية لمختلف أنواع المزارع التي جاء ذكرها من قبل .

مزارع الأنسجة كمصدر للاختلافات الوراثية

نتناول تحت هذا العنوان الاختلافات الوراثية بمفهومها الواسع ، الذي يتضمن الطفرات العاملية ، والتحورات الكروموسومية ، وحالات التعدد الكروموسومي التام وغير التام ، التي قد تنشأ بصورة طبيعية أو بعد تعريض المزارع للعوامل المطفرة .

١- الطفرات العاملية والتحورات الكروموسومية :

تتميز مزارع الخلايا بأن كل خلية فيها يكون لها القدرة على أن تصبح فرداً جديداً ،

ويعنى ذلك وجود احتمالات كبيرة للغاية لظهور الطفرات فى النباتات التى تتميز من هذه المزارع نظراً للأعداد الهائلة من الخلايا التى توجد بها ، فعلى سبيل المثال يحتوى كل ١٠٠ مل من مزرعة معلق خلايا الدخان على أكثر من ١ × ١٠ ^٧ خلية . ولايحتاج الأمر إلى أكثر من تطوير طريقة مناسبة لتقييم هذه الخلايا للصفة أو الصفات المرغوب فيها ، بحيث لاتبقى فى المزرعة سوى الخلايا المحتوية على الطفرات المرغوبة ثم توفير الظروف التى تساعد على تميز الأجنة من هذه الخلايا المطفرة .

تحدث التغيرات الوراثية - تلقائيًا - فى جميع أنواع المزارع تقريبًا ، وتعرف باسم Somaclonal Variation . وقد أمكن التعرف على اختلافات وراثية فى صفات المقاومة للأمراض ، وعدد الأيام إلى الإزهار ، والمحصول ، وحجم النبات ، وشكل الجزء الاقتصادى من النبات ... إلخ ، ولوحظت هذه التباينات فى مزارع محاصيل متنوعة ؛ مثل قصب السكر ، والبطاطس ، والدخان ، والأرز ، والذرة ، والشعير ، والبرسيم ، والجزر ، والأناناس ، والخس ، والثوم ، والصليبيات ، والقرنفل ... إلخ (عن Carlson وآخرين ١٩٨٤ ، و Daub ١٩٨٤) ولمزيد من التفاصيل عن الطفرات الوراثية التى تظهر طبيعياً فى مزارع الأنسجة .. يراجع Ledoux (١٩٧٥) ، و Maliga وآخرون (١٩٨٢) ، و Scowcroft (١٩٨٢) ، و Carlson وآخرون (١٩٨٤) ، Duncan & Widholm (١٩٨٦) . أما بخصوص استخدامات مزارع الأنسجة فى مجال الدراسات الوراثية .. فيراجع Griesbach(١٩٨٤) .

وقد انتخبت سلالات طفرية كثيرة من مزارع الخلايا mutant cell lines سواء أكان ذلك بعد تعريض المزارع للعوامل المطفرة ، أم بدون ذلك التعريض . وكانت أبسط طرق الانتخاب وأكثرها شيوعاً هى الانتخاب المباشر بتعريض مزرعة الخلايا لمستويات عالية - إلى درجة السمية - من مركبات معينة ، بحيث لاتبقى فى المزرعة سوى الخلايا المقاومة لهذه المركبات ؛ لتتكاثر ، وتصبح سلالات طفرية جديدة . ويمكن التأكد من مستوى المقاومة فى هذه الطفرات بإعادة زراعة السلالات الطفرية فى مستويات أعلى من هذه المركبات . وقد أمكن - باتباع هذه الطريقة - انتخاب طفرات مقاومة لمشابهات الأحماض الأمينية ، ومضادات الحيوية ، ومبيدات الحشائش ، وسموم الفطريات ، والبكتيريا المرضية ، وكلوريد الصوديوم ... إلخ ، وكذلك سلالات أعلى فى القيمة الغذائية . ويعيب

هذه الطريقة عدم صلاحيتها للانتخاب لعديد من الصفات المحصولية المهمة .

وتجدر الإشارة إلى كثرة ظهور الطفرات في مزارع الخلايا والكالس ، دون الحاجة إلى تعريضها للعوامل المطفرة . كما لم يمكن - في بعض الحالات - زيادة معدل حدوث الطفرات بمعاملة مزارع الأنسجة بالعوامل المطفرة . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Gonzales & Widholm (١٩٨٥) .

وبرغم أن مزارع البروتوبلازم تعد أكثر من مزارع الخلايا والكالس ثباتاً من الوجهة الوراثية .. إلا أنه تظهر بها أيضاً بعض التغيرات الوراثية التي تعطى عند إكثارها سلالات جديدة ، يطلق عليها اسم Protoclones . وقد انتجب بهذه الطريقة سلالات جديدة من صنف البطاطس رست بربانك Russet Burbank تميزت باختلافات نوعية وكمية عن الصنف الأصلي . وتكمن المشكلة الحقيقية لمزارع البروتوبلازم في قلة الأنواع النباتية ، التي أمكن تمييز نباتات كاملة منها (عن Sink ١٩٨٤) . ولمزارع البروتوبلازم أهميتها الكبيرة في إحداث التباينات الوراثية بالنسبة للنباتات العقيمة التي تكثر خضرياً ، والنباتات ذات دورات الحياة الطويلة جداً ؛ لأن التغيرات الوراثية التي تظهر في هذه المزارع تكون طفيفة ؛ مما يسمح بالاستفادة منها في تطوير المحصول بصورة تدريجية (Power & Chapman ١٩٨٥) . ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Bright وآخرون (١٩٨٣) .

هذا .. ولمزارع حبوب اللقاح أهمية خاصة في هذا الشأن ؛ ويرجع ذلك إلى أنها أحادية المجموعة الكروموسومية ، وهو ما يعني ظهور الطفرات المتنحية بمجرد حدوثها ، ويلزم في هذه الحالة تعريض حبوب اللقاح للعامل المطفر ، ثم زراعتها لإنتاج النباتات الأحادية التي تقيّم بدورها لتمييز النباتات الحاملة للطفرات المرغوب فيها ، وهي التي تضاعف - بعد ذلك - بالكولشيسين ؛ لإكثارها والمحافظة عليها . وتزداد أهمية النباتات الأحادية عند وجود أكثر من طفرة متنحية في النبات الواحد ؛ حيث تظهر جميعها في آن واحد ، دونما حاجة إلى إجراء التلقيح الذاتي ، وزراعة أعداد كبيرة من نباتات الجيل الطفري الثاني ؛ للتعرف على النباتات التي تحمل جميع الطفرات المتنحية بحالة أصيلة مثلما يتطلب الأمر في النباتات الثنائية .

ومن المزايا الأخرى لمزارع حبوب اللقاح .. أن الطفرات المتكونة تظهر فى جميع خلايا النبات الأحادى ، ولاتكون على صورة كيميرا ، كما يحدث فى النباتات الثنائية المجموعة الكروموسومية . ويمكن إنتاج الطفرات إما بتعريض المتوك للعوامل المطفرة قبل زراعتها ، وإما بإنتاج نباتات أحادية من مزارع متوك غير معاملة ، ثم تحضير مزارع خلايا أوبروتوبلازم منها ، ومعاملتها بالعوامل المطفرة ؛ لإحداث الطفرات المقاومة لمركبات كيميائية معينة ، أو التى تتحمل ظروفاً بيئية خاصة ، ثم إنتاج نباتات كاملة منها .

وقد تعددت محاولات استخدام مختلف أنواع المزارع من قبل مربى النبات لانتخاب سلالات مقاومة للآفات ، أو لظروف بيئية معينة ، وعلى سبيل المثال .. تمكن Bourgeais (١٩٨٧) من زيادة القدرة علـى تحمـل الملوحـة فى مزارع صنف الطماطم St - Pierre بتكرار زراعتها أربع مرات فى بيئات تحتوى على تركيزات متزايدة من كلوريد الصوديوم ، وصلت إلى ١٠٠ مللى مول ، واستخدم فى هذه المزارع إما القمة الطرفية للسيقان ، وإما كالس حصل عليه من جذور وسيقان النباتات . ويذكر Stavarek & Rains (١٩٨٤) أنه أمكن انتخاب سلالات خلايا Cell Lines مقاومة للملوحة من مزارع الخلايا لعدة محاصيل زراعية ، منها الفلفل ، والبرتقال ، وقصب السكر ، والبن ، والأرز ، والقلقاس ، والبرسيم الحجازى ، والدخان . وتكمن المشكلة – فى برامج التربية التى من هذا النوع – فى صعوبة الحصول على نباتات كاملة من سلالات الخلايا المنتخبة لمقاومة الملوحة (أو غيرها من العوامل البيئية) ؛ ففى البرسيم الحجازى .. كانت المزرعة التى أجرى فيها الانتخاب قديمة ، وحدث فيها تغيرات وراثية فى صفات كثيرة إلى درجة لم تسمح بنمو النباتات التى تميزت منها لاختبار مقاومتها للملوحة وإكثارها ، وفى الأرز .. كانت النباتات المقاومة للملوحة الناتجة من سلالات الخلايا عقيمة بدرجة عالية ، ولكن أمكن الحصول على نباتات من مزارع الدخان كانت قادرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على ٢,٦٢ ٪ كلوريد صوديوم .

وفى مجال التربية لمقاومة التركيزات المرتفعة من عنصر الألومنيوم (حيث يصل العنصر لتركيزات عالية إلى درجة السمية فى الأراضى الحامضية) .. أمكن انتخاب عدة سلالات خلايا Cell Lines من صنف الطماطم مارجلوب Marglobe عند زراعتها فى بيئة مغذية ، تحتوى على ألومنيوم فى صورة Al - EDTA بتركيز ٢٠٠ ميكرومول ، لكن لم

يمكن إنتاج نباتات من هذه المزرعة لأن الكالس كان مسناً . وأمكن فى دراسة أخرى انتخاب سلالات خلايا من الجزر مقاومة للتركيزات المرتفعة من الألومونيوم ، وهو على صورة كلوريد الألومنيوم ، وأمكن إنتاج نباتات كاملة منها . وقد لقحت هذه النباتات ذاتيًا ، واختبرت بادراتها فى محلول مغذ ، يحتوى على تركيز مرتفع من كلوريد الألومونيوم ، ووجد أنها كانت على درجة عالية من المقاومة .

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات مزارع الأنسجة فى التربية للظروف البيئية القاسية .. يراجع Dix (١٩٨٠) ، و Stavarek & Rains (١٩٨٤) .

وقد أمكن كذلك الاستفادة من مزارع الخلايا فى إنتاج سلالات دخان مقاومة لفيرس التبرقش . وقد تحقق ذلك بعدوى أوراق نبات دخان أحادى المجموعة الكروموسومية بشكل متجانس تماما بإحدى سلالات الفيرس ، ثم تعريضها لأشعة جاما . وأخذت بعد ذلك أجزاء من نسيج هذه الأوراق ، وزرعت فى بيئة مغذية ، تحتوى على تركيز مرتفع من السيتوكينين ، وعرضت لإضاءة قوية . سمحت هذه الظروف بحدوث نمو غيرمتساو للخلايا المحتوية على الفيرس (القابلة للإصابة) والخالية منه (المقاومة التى حدثت بها الطفرات) بحيث أمكن التمييز بين الكالس الأصفر البطئ النمو (المصاب) ، والأخضر السريع النمو (المقاوم) ، وأمكن من بين ٣٢١٠ calli (جمع كالس) الحصول على سبعة نباتات كانت مقاومة للفيرس ، هذا .. بينما لم يُحصل على أية نباتات مقاومة للفيرس من الأوراق التى لم تعرض للأشعة . وقد استمرت المقاومة فى نسل هذه النباتات ، وظهرت على شكل نقص فى تركيز الفيرس ، وضعف حركته فى النبات مما أدى إلى تأخير ظهور الأعراض لمدة ٣ – ٨ أسابيع ، مقارنة بالنباتات غير المقاومة (عن Daub ١٩٨٤) .

كما استخدمت سموم المسببات المرضية فى انتخاب سلالات خلايا Cell Lines مقاومة لهذه المسببات وقد جذبت هذه الطريقة الانتباه إليها لسهولتها ، ولأن جميع الخلايا تعرض لمستوى واحد من سموم المسببات المرضية ، ولكن يعيبها أن نسبة بسيطة فقط من المسببات المرضية هى التى تنتج سموما ، وأن قليلاً من هذه السموم هو الذى أمكن عزلة وتنقيته ، لاستخدامه فى الانتخاب للمقاومة ، كما أن بعض السموم تكون خاصة بعوائل معينة hos-specific ، وتحدث بها نفس الأعراض التى تحدثها المسببات المرضية ذاتها ، بينما تكون سموم أخرى ذات تأثير عام non-host-specific على عدد كبير من الانواع

النباتية ، ويكون دورها فى إحداث الأعراض المرضية أقل من سابقتها . ومن أمثلة سلالات الخلايا التى انتخبت لمقاومتها لسموم المسببات المرضية أو راشح بيئاتها Culture Filtrates ، والتى تميزت نباتات كاملة منها ما يلى :

أ- المقاومة للبكتريا *Pseudomonas syringe* فى الدخان .

ب- المقاومة لفطرى *Phytopthora infestans* ، و *Fusarium oxysporum* فى البطاطس .

جـ- المقاومة لفطر *Phoma lingam* فى *Brassica napus* (عن Daub ١٩٨٤) .

د- أمكن كذلك عزل سلالات من الذرة ، تحتوى على صفة العقم الذكرى الستوبلازمى مع المقاومة لسموم السلالة T من الفطر *Helminthosporium maydis* المسبب لمرض لفحة الأوراق الجنوبية ؛ بواسطة تعريض مزارع أنسجة من سلالات ذرة ، تحمل سيتوبلازم تكساس الخاص بالعقم الذكرى ، لسموم الفطر ، ووجد أن صفة المقاومة هذه تورث عن طريق الستيوبلازم ، وأن النباتات المنتخبة كانت مقاومة لدى اختبارها تحت ظروف الحقل ، وجدير بالذكر ، أن جميع أصناف الذرة التى تحتوى على سيتوبلازم تكساس العقيم الذكرTexas Male Sterile Cytaplasm تصاب بهذا الفطر بدرجة أكبر بكثير من الأصناف الأخرى . ويبدو أن سم هذا الفطر يؤثر فى المتيوكوندريا (عن Cooking & Riley ١٩٨١) ولمزيد من التفاصيل عن دور مزارع الأنسجة فى الانتخاب لمقاومة الأمراض .. يراجع Earle & Gracen (١٩٨١) ، Daub (١٩٨٤) .

٢- حالات التعدد الكروموسومى غير التام :

على الرغم من أن حالات التعدد الكروموسومى غير التام aneuploidy نادراً ما تظهر فى الطبيعة إلا فى النباتات المتضاعفة بطبيعتها .. إلا أنها كثيرة الشيوع فى مزارع الأنسجة ، وظهرت فى مزارع عديد من النباتات ؛ مثل البسلة ، والدخان ، والجزر ، والفول . كما تنشأ حالات كثيرة من التعدد الكروموسومى غير التام ، والتام فى مزارع متوك بعض النباتات مثل الداتورة ، والشعير ، والأرز ، والبيتونيا .

٣- حالات التضاعف الذاتى :

أمكن إحداث التضاعف الذاتى بسهولة فى مزارع الخلايا ؛ بإضافة الكولشيسين إليها

مباشرة . فأمكن – على سبيل المثال – إنتاج ٤٨٠ نباتاً متضاعفاً بانتظام من مزرعة خلايا لأحد الهجن النوعية فى الجنس *Saccharum* كان قد أضيف إليها الكولشيسين بتركيز ٥٠ مجم / لتر لمدة ٤ أيام ويحدث التضاعف الكروموسومى الطبيعى بانتظام كذلك فى كثير من مزارع الخلايا ، وكثيرا ما وجدت حالات تضاعفت فيها الخلايا الثنائية إلى ٤ ن ، و ٨ ن ، وأحياناً إلى ١٦ ن .

أهمية تميز الأجنة العرضية

تتحقق الاستفادة من مزارع الأنسجة والخلايا فى الحصول على اختلافات وراثية جديدة ، حتى إن تميزت النموات الخضرية من أنسجة الكالس مباشرة ، إلاّ أن الفائدة من الاختلافات الوراثية تتضاعف إذا تميزت الأجنة العرضية Adventitious Embryos فى هذه المزارع ؛ وذلك للأسباب التالية :

١– تزداد فرصة العثور على الاختلافات الوراثية المرغوبة ؛ نظراً لأن كل خلية فى المزرعة يمكن أن تتميز إلى جنين يعطى فرداً جديداً .

٢– ولنفس السبب السابق .. فإن جميع خلايا الأفراد المتكونة الحاملة للطفرات تكون بها هذه الطفرات ، ولاتكون الطفرات على شكل كيميرا ، مثلما يحدث فى حالة تميز النموات الجديدة من نسيج الكالس مباشرة .

٣– يصعب – كثيراً – فى الحمضيات إنتاج نباتات خالية من الفيروسات ، عن طريق مزارع القمة النامية الميرستيمية ، ولكنها تنتج بشكل روتينى من الأجنة اللاإخصابية التى تكون خالية تماماً من الإصابات الفيروسية (تكون الأجنة الجنسية خالية – هى الأخرى – من الإصابات الفيرسية ، ولكنها لاتصلح للإكثار التجارى) ، إلا أن بعض أصناف الحمضيات تكون خالية من البذور ؛ مثل البرتقال أبو سرة ، والأصناف اللابذرية من اليوسفى والجريب فروت . وفى أصناف كهذه .. لايمكن إنتاج نباتات خالية من الفيروسات إلا بطريق الأجنة العرضية ، التى تتكون فى مزارع الأنسجة والخلايا .

٤– يحد تميز الأجنة العرضية من التغيرات الوراثية ، التى تظهر عادة عند الإكثار الدقيق للأغراض التجارية ، وهى التغيرات التى يزداد ظهورها عند تميز الأفراد الجديدة من نسيج الكالس مباشرة .

٥– يفيد إنتاج الأجنة العرضية فى تقصير فترة برنامج التربية فى بعض الحالات ،

عندما تتجه النباتات التي تنمو من هذه الأجنة نحو الإزهار المبكر ، ففي نبات الجنسنج ginseng ..أعطت الأجنة العرضية التي انتجت في مزارع كالس الجذور نباتات اتجهت مباشرة نحو الإزهار ، وهو ما يعني توفير ثلاث سنوات في كل جيل من أجيال التربية بالنسبة لهذا النبات .

أهمية مزارع المتوك وحبوب اللقاح

تنتج النباتات الأحادية بسهولة من مزارع المتوك وحبوب اللقاح ، وقد سبق أن بيّناً في الفصل الرابع عشر أن من أهم فوائد النباتات الأحادية استخدامها في إنتاج نباتات ثنائية أصيلة من المحاصيل الخلطية التلقيح في خطوة واحدة بمضاعفتها بالكولشيسين (بدلاً من التربية الداخلية لستة أو ثمانية أجيال) . كما تفيد النباتات الأحادية في إنتاج مختلف حالات التعدد الكروموسومي غير التامة aneuploids . وذكرنا - من قبل - أهمية مزارع المتوك وحبوب اللقاح بالنسبة للتربية بالطفرات ؛ حيث تفيد في التعرف على الطفرات المتنحية بسهولة . وإلى جانب ذلك .. فإن مزارع المتوك تعد وسيلة سهلة لإنتاج النباتات ذات الأصول الوراثية المتشابهة Isogenic Lines ، كما أمكن إنتاج أصناف جديدة محسنة في وقت قياسي من كل من الدخان ، والقمح ، والأرز ، والشعير ، وغيرها من المحاصيل باستخدام مزارع المتوك . واستخدمت مزارع حبوب اللقاح في إنتاج أصناف هجين من الهليون كانت جميع نباتاتها مذكرة فقط ؛ وذلك بإنتاج نباتات مذكرة أحادية (Y) من حبوب اللقاح ، ثم مضاعفتها بالكولشيسين لإنتاج نباتات فائقة الذكورة (YY) ، ثم تلقحيها بالإناث (XX) لإنتاج هجن ذكور خليطة (XY) .

وقد أمكن إنتاج نباتات أحادية من مزارع حبوب اللقاح في عدد كبير من الأنواع النباتية ، نذكر منها - على سبيل المثال - ما يلي (عن Chu ١٩٨٢) :

Brassica oleracea

B. chinensis

B. napus

B. campestris

C. annuum

C. frutescens

Solanum tuberosum

S. melongena

Lycopersicon esculentum

L. pimpinellofolium

Ipomea batatas

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات مزارع المتوك وحبوب اللقاح فى تربية النبات .. يراجع Sink & Padmanabhan (١٩٧٧) ، و Nitsch (١٩٧٥) و Sunderland (١٩٨٠) ، و Chu (١٩٨٢) .

أهمية مزارع الإندوسبيرم

إن الهدف الرئيسى من إنتاج مزارع الإندوسبيرم - بالنسبة لمربى النبات - هو الحصول على النباتات الثلاثية التى تكون لها أهمية خاصة فى عديد من المحاصيل الإقتصادية الهامة ؛ مثل التفاح ، والموز ، وبنجر السكر ، والشاى ، وأصناف البطيخ اللابذرى ، وتعد مزارع الإندوسبيرم بديلاً سهلاً للطريقة الأخرى المتبعة فى إنتاج النباتات الثلاثية وهى تلقيح نباتات رباعية مع أخرى ثنائية المجموعة الكروموسومية . وتبرز أهمية مزارع الإندوسبيرم فى الحالات التى لايكون فيها هذا التهجين ناجحاً دائماً كما فى الحمضيات . ولمزيد عن التفاصيل عن هذا الموضوع .. يراجع Johri وآخرون (١٩٨٠) .

أهمية مزارع المبايض والبويضات

يستفاد من مزارع المبايض والبويضات فى الجوانب التالية :

١- إنتاج النباتات الأحادية ، من خلال عملية التوالد الذاتى .

٢- التغلب على حالات عدم التوافق (سواء أكان ذاتياً ، أم خلطيًا) فى مزارع البيضات نظراً لأنه تتم إزالة أنسجة المبيض الأمية المسئولة عن حالة عدم التوافق .

٣- التغلب على مشاكل العقم فى بعض الهجن النوعية البعيدة (بين أنواع من أجناس مختلفة من نفس العائلة (intergeneric crosses) ، أو من عائلات مختلفة (interfamily crosses) . وقد أمكن بالفعل إنتاج لاقحات zygotes تحتوى على هيئات كروموسومية لأنواع بعيدة ، ونمت هذه اللاقحات إلى درجات مختلفة من التطور نحو تكوين الأجنة .

ومن أمثلة الهجن النوعية الصعبة التى أمكن إنتاجها بكل من مزارع المبايض ، ومزارع البويضات الهجين *B . napus* x *B . juncea* (والهجين العكسى كذلك) . وقد أظهرت نباتات الجيل الثانى تباينا واسعًا فى الصفات (Bajaj وآخرون ١٩٨٦) .

أهمية مزارع الأجنة

يستفاد من مزارع الأجنة فى الأمور التالية :

١- إمكانية الحصول على الهجن البعيدة التى يستحيل إنتاجها بالطرق العادية ، ويتحقق ذلك فى الحالات التى يبدأ فيها الجنين الهجين فى التكوين بصورة طبيعية بعد التلقيح والإخصاب ، إلا أنه يتدهور بعد فترة ، ويختفى نظراً لعدم التوافق بين الجنين النامى ، والإندوسبيرم . وقد أمكن – عن طريق مزارع الأجنة – إنتاج هجن نوعية هامة فى كل من الأجناس : *Phaseolus* ، و *Brassica* ، و *Lycopersicon* ، و *Oryza* وغيرها ، كما أمكن – عن طريقها كذلك – الحصول على هجن جنسية مثل *Hordeum* x *Secale* ، و *Hordeum* x *Agropyron* ، و *Triticum* x *Aegilops* ، و *Triticum* x *Secale* .

٢- إنتاج النباتات الأحادية بسبب الاستبعاد الكروموسومى الذى يحدث أحياناً بعد التهجينات البعيدة كما فى الهجين *Hordeun vulgare* x *H . bulbosum* ؛ حيث تفقد كروموسمات *H . bulbosum* خلال الإنقسامات القليلة الأولى للأقحة ، وبمضاعفة النباتات التى تنمو من الأجنة الأحادية بالكولشيسين .. يتجمع لدى المربى عدد كبير من النباتات الأصيلة المختلفة عن بعضها وراثيا ، ويمكن انتخاب أفضلها ؛ لتصبح أصنافا جديدة .

٣- تقصير دورة التربية بالتخلص من حالات سكون البذور التى قد تمتد إلى عدة شهور ، وربما إلى سنتين أو ثلاث سنوات كما فى الجنس *Iris* .

٤- إكثار بعض النباتات التى لاتنبت بذورها ، برغم احتوائها على جنين جنسى ، كما فى النوع *Musa bolbisiana* الذى يمكن إنتاج بادراته بسهولة بزراعة أجنة بذوره فى بيئات صناعية .

وقد أمكن الاستفادة من مزارع الأجنة فى إنتاج هجن نوعية صعبة فى عدد من

الأجناس لنقل صفات هامة من الأنواع البرية إلى الأنواع المزروعة ؛ ففى الجنس *Cucumis* تتوفر المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور فى عدة أنواع مثل: *C. metuliferus* ، و *C . anguria* ، ولكنها لا توجد فى أى من القاوون *C . melo* أو الخيار *C . sativus* . وأمكن الحصول على أجنة من التهجين *C . metuliferus* x *C . melo* إلا أنه لم يمكن زراعتها لإنتاج نباتات تصلح للشتل ، وأعطت التهجينات *C . anguria* x *C . melo* . و *C.metuliferus* x *C . anguria* ثماراً كانت خالية من البذور الحية ، إلاّ أنه أمكن عزل أجنة حية من هذه الثمار قبل اكتمال تكوينها ، وتمكن Fassuliotis & Nelson (١٩٨٨) من الحصول على النباتات الهجين من هذه الأجنة ، بزراعتها بعد ٣٤ - ٩٩ يوماً من التلقيح . وفى الجنس *Brassica* .. أمكن إجراء التهجين النوعى : *B . napus* x *B. juncea* ، باستخدام مزارع الأجنة (Bajaj ١٩٨٦) . أما الهجين النوعى *B . napus* X *B . oleracea* ، والذى تنتج بذوره بنسبة نجاح تتراوح من ٠٫٥٪ - ٣٪ من التلقيحات .. فقد أمكن إنتاجه ، بمعدلات وصلت إلى ٦٤٫٢٪ باستخدام مزارع الأجنة (Ayotte وآخرون ١٩٨٧) . ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات مزارع الأجنة فى تربية النبات .. يراجع Raghavan (١٩٨٠) .

أهمية مزارع البروتوبلازم

يستفاد من مزارع البروتوبلازم فى النواحى التالية :

١- تعد مزارع البروتوبلازم أفضل من مزارع الخلايا الكاملة ، ويجب استعمالها كبداية فى عمليات الإكثار وعزل السلالات الطفرية .

٢- دمج بروتوبلازم الأنواع النباتية البعيدة عن بعضها معاً ، وهو ما يعد وسيلة فعّالة لإجراء التهجينات البعيدة .

٣- إدخال تراكيب مجهرية حية أو غير حية فى الخلايا النباتية ، ويستفاد من ذلك فى دراسات الهندسة الوراثية وتجرى محاولات فى هذا الخصوص ؛ لنقل الجزء الكروموسومى الخاص بالقدرة على المعيشة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية من الجنس *Rhizobium* إلى نباتات غير بقولية ، علماً بأن هذه الظاهرة لاتوجد إلا فى البقوليات ، ونبات *Trema canabino* .

٤- إجراء الدراسات الفسيولوجية الخاصة بتمثيل الجدار الخلوى

وخصـائص الغشاء البلازمى .

٥- إحداث الإصابة بالفيروسات بإدخالها فى البروتوبلازم مباشرة .

٦- زراعـة كلوروبلاسـتيـدات نباتات عـالية الكفـاءة فى عـمليـة البناء الضـوئى فى بروتوبلازم نباتات منخـفضـة الكفاءة ، ونقل الصـفات المرتبطة بالكلوروبلاستيدات (مثل المقاومة لمبيد الحشائش اترازين atrazine فى اللفت) من نوع إلى آخر .

٧- إدخال صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى فى النباتات (Bajaj ١٩٧٤ ، و Vasil ١٩٧٦) ، وقد أمكن - على سبيل المثال - إدخال صفة العقم الذكرى السيتوبلازمى بواسطة مزارع البروتوبلازم من النوع *Nicotiana tabacum* إلى *N. sylvestris* ، ومن *Petunia hybrida* إلى *P. axillaris* (عن Sink ١٩٨٤) .

٨- الحصول على تباينات وراثية يمكن الاستفادة منها فى تحسين النباتات ، خاصة الأنواع العقيمة منها التى لاتنتج بذوراً .

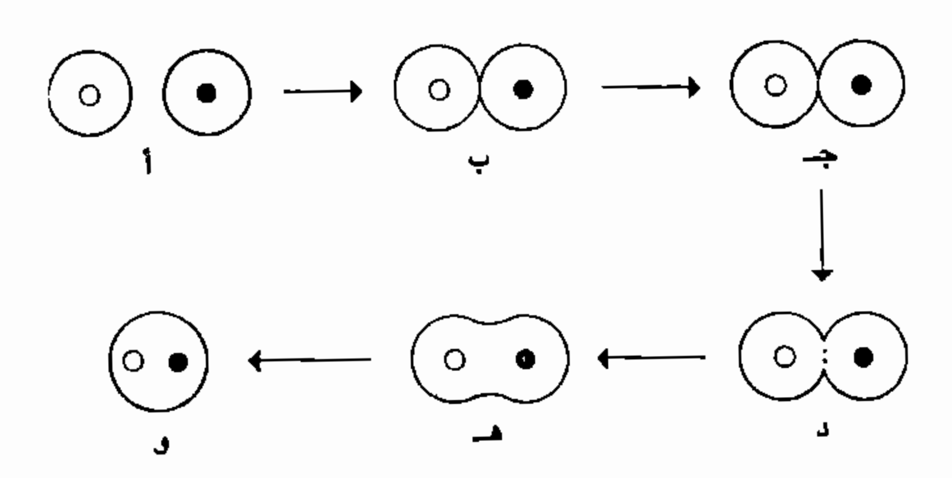
اندماج البروتوبلازم وإنتاج الهجن

يحدث اندماج البروتوبلازم Protoplasm Fusion بصورة تلقائية وطبيعية فى مزارع البروتوبلازم المجهزة من خلايا نشطة فى الانقسام . ويحدث الاندماج باتساع الأغشية البـروتوبلازمـية المتـجاورة والتـحام الروابط البـلازمـية بينهـا ؛ لتـتكون بذلك وحـدات بروتوبلادمية جديدة بكل منها من ٢ - ٤٠ نواة . ويمكن تقليل حالات اندماج البروتوبلازم بوضع الخلايا المستخدمة فى إعداد مزارع البروتوبلازم فى سائل ذى ضـغط أسموزى مرتفع ، لبلزمتها بغرض قطع الروابط البروتوبلازمية .

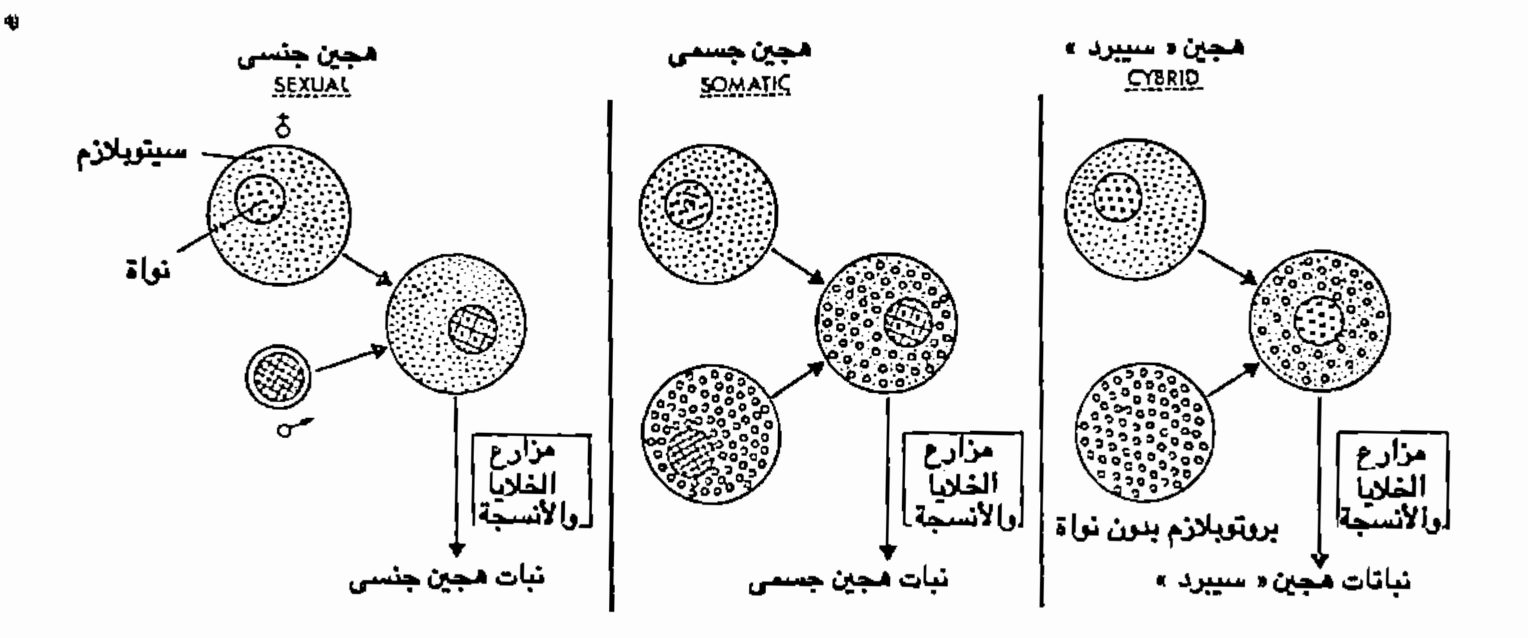
أما إنتاج الهجن .. فيتطلب اندماج بروتوبلازم الأنواع التى يراد تهجينها ، ويستلزم ذلك توفر عـامل ، أو وسيلة مناسبـة لتـحقيق الاندمـاج (fusogen) . وقـد جـربت لذلك معاملات كثيرة أثبت بعضها نجاحاً كبيراً فى تحفيز اندماج بروتوبلازم الأنواع البعيدة ، مثل معاملات نترات الصوديوم ، والـ pH المرتفع ، والتركيز المرتفع لأيون الكالسيوم ، والبولثيلين جليكول ، والمعاملة بتيار كهربائى ذى فولت مرتفع لفترة قصيرة .

ويحـدث اندمـاج البـروتوبـلازم بالطريـقة المبـينة فى شكل (١٨-١) ، وينتج عنه إنتـاج بروتوبلازم ذى نواتين مـختلفتين Binucleate Heterokaryon . يعقب الاندماج اختلاط بروتوبلام الأنواع المندمـجة خـلال ساعات قليلة ، وتكون جداراً خلوياً حـول البـروتوبلازم

المندمج ، ثم تدخل الخلية الهجين فى انقسامات ينشأ عنها تكون هجين جسمى Somatic Hybrid ، وقد تنقسم كل نواة فى البروتوبلازم ذى النواتين منفصلة عن الأخرى ، دون أن تشترك كروموسوماتهما معا فى خيوط مغزل واحدة ، وتنشأ عن ذلك حالات من الكيميرا . وقد تستمر الخلايا ذات النواتين المختلفتين فى إنتاج خلايا مماثلة لعدة أجيال ، دون أن تندمج النواتان معاً . وقد يحدث اندماج للنواتين فى الطور البينى Interphase بين الانقسامات ، ولكن هذا الاندماج لايترتب عليه إنتاج خلية هجين قادرة على الاستمرار فى الانقسام . ولايكون اندماج النواتين مفيداً فى إنتاج خلايا هجين hybrids إلا إذا حدث أثناء الانقسام الميتوزى . وحتى إذا تكونت الخلايا الهجين فى أثناء الانقسام الميتوزى .. فإن اندماج النواتين لايكون تاماً فى أغلب الحالات ، وكثيراً ما تستبعد الكروموسومات الخاصة بأحد النوعين المندمجين من الخلايا الهجين بعد عدة أشهر من الانقسام . كما يحدث الشئ نفسه – غالباً – بالنسبة لعضيّات الخلية ، مثل البلاستيدات الخضراء . وقد تستبعد كروموسومات أحد النوعين ، بينما تستبعد بلاستيدات النوع الآخر ، ويعطى ذلك الفرصة لإنتاج خلايا لأحد النوعين المهجنين ، وهى تحتوى على بلاستيدات النوع الآخر ، ولنقل عوامل سيتوبلازمية (مثل العقم الذكرى) من نوع أو جنس إلى آخر . وتعرف الهجن التى تحتوى على نواة من أحد الأنواع وسيتوبلازم من النوع الآخر ، أو منهما معًا باسم سيبرد Cybrds (شكل ١٨ – ٢) .



شكل (١٨ – ١) : خطوات عملية اندماج البروتوبلازم لنوعين مختلفين . يبدأ الاندماج بتقارب البروتوبلازم كما فى الشكل (ب) ، ثم اندماج الأغشية البروتوبلازمية فى مناطق محددة (كما فى الشكل جـ) ، وينتهى بتكوين الخلية ذات النواتين المختلفتين binucleate heterokaryon .



شكل (١٨ – ٢) : مقارنة بين الهجين الجنسى ، والهجين الجسمى والـسيبرد cybrid .

وقد استخدمت تقنية اندماج البروتوبلازم فى إنتاج هجن كثيرة ، نذكر منها – على سبيل المثال – مايلى :

1 - *Daucus carota* (2n = 18) + *D . capillifolius* (2n = 18) .

2 - *Nicotiana tabacum* (2n = 48) + *N . glauca* (2n = 24) .

3 - *Petunia parodii* (2n = 14) + *P . hybrida* (2n = 14) .

4 - *Solanum tuberosum* (2n = 24) + *S . chacoense* (2n = 24) .

5 - *Datura innoxia* (2n = 24) + *D . discolor* (2n = 24) .

6 - *Nicotiana tabacum* (2n = 24) + *Lycopersicon sp .* (2n = 24) .

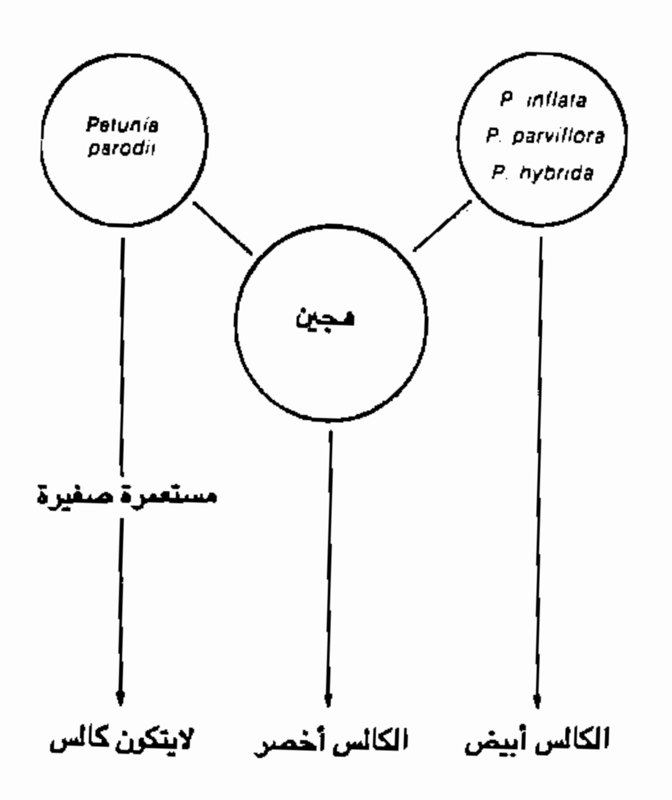
7 - *Solanum tuberosum* (2n= 24)+*Lycopersicon esculentum* (2n = 24)

8 - *Daucus carota* (2n = 18) + *Petroselinum hortense* (2n = 22) .

9 - *Lycopersicon esculentum* + *Solanum nigrum* .

وقد اختلف عدد كروموسومات الهجن الناتجة عن إجمالى عدد كروموسومات الأبوين المهجنين فى معظم الحالات ؛ فعلى سبيل المثال .. كان عدد كروموسومات نباتات الهجين الثانى – أعلاه – من ٥٠ – ٨٠ كروموسوماً ، والهجين الثالث من ٢٤ – ٢٨ كروموسوماً ، والهجين السابع من ٥٠ – ٧٠ كروموسوماً ، والهجين الثامن ١٩ كروموسوماً . تعقب المعاملة بالعامل المحفز للاندماج fusogen تواجد خليط من الطرز الأبوية ، والخلايا المتعددة الأنوية المتماثلة homokaryons ، والخلايا المتعددة الأنوية الهجين heterokaryons ، مع طرز متعددة تحتوى على توافيق مختلفة من المحتويات النووية والستوبلازمية للنوعين المندمجين . ولاتشكل الخلايا المتعددة الأنوية الهجين سوى نحو ٠,٥٪ – ١٠,٠٪ من هذا الخليط ؛ لذا .. فإنه من الضرورى التعرف على هذه الخلايا فى مرحلة مبكرة من تكوينها وانتخابها ؛ لكى تطور إلى الهجن المرغوب فيها . وقد طورت عدة طرق لتحقيق ذلك : مثل الطريقة المبينة فى شكل (١٨ – ٣) ، وطريقة الطرد المركزى مع فصل الهجن على أساس الكثافة النوعية . هذا .. وتتميز النباتات الهجين من نسيج الكالس الذى ينمو من الخلايا المتعددة الأنوية المنتخبة . ويتطلب تكوين الكالس وتميز النباتات منه توفر ظروف خاصة مختلفة فى بيئة الزراعة فى كل من الحالتين .

ويتلخص الوضع الحالى لاستخدام مزارع البروتوبلازم فى إنتاج الهجن البعيدة فى أن



شكل (١٨ – ٣) : طريقة انتخاب الخلايا الهجين بين النوع *Petunia parodii* وأى من الأنواع *P. inflata* ، أو *P. parviflora* ، أو *P. hybrida* باستعمال مزارع البروتوبلازم .

غالبية المحاولات فى هذا الاتجاه كانت على الأجناس التى يسهل الحصول فيها على نباتات من مزارع البروتوبلازم ، وهى : *Nicotiana* ، و *Petunia* ، و *Daucus* ، و*Solanum* ، و *Datura* . ويلزم تطوير تقنية إنتاج النباتات من مزارع البروتوبلازم فى أجناس أخرى مهمة لكى يمكن أن تشملها محاولات الهجن البعيدة . وقد أمكن – عن طريق دمج بروتوبلازم الأنواع البعيدة –معًا– فى مزارع البروتوبلازم – إنتاج أربعة أنواع من الهجن هى :

١– هجن تحتوى على العدد الكامل لكروموسومات الأبوين (أى متعددة المجموعات الكروموسومية شبيهة بالثنائية Amphidiploids مثل الهجين : *Datura innoxia + D. stramonium* ، و *D. innoxia + D. discolor* .

٢- هجن خليطة وعقيمة أنتجت بإضافة هيئات كروموسومية من أنواع برية إلى النوع المزروع ، وتكثر خضريًا كما فى جنس البطاطس *Solanum* .

٣- هجن تحتوى على جزء فقط من الهيئة الكروموسومية لأنواع أخرى ، مثل غالبية الهجن التى أنتجت حتى الآن .

٤- هجن تحتوى على نواة أحد الأنواع ، وسيتوبلازم النوع الآخر ، أو كلا النوعين المهجنين سيبرد Cybrids (عن Schieder ١٩٨٢) .

وعلى صعيد تربية النباتات .. أجرى Tang & Punja (١٩٨٩) دراسات مزارع البروتوبلازم اللازمة لزراعة ، ودمج بروتوبلازم الخيار مع بروتوبلازم السلالة P. I . 292190 من النوع البرى *Cucumis metuliferus* المقاومة لكل من نيماتودا تعقد الجذور ، وفيرس تبرقش الزوكينى الأصفر ، وفيرس تبرقش البطيخ رقم (١) . كما أمكن نقل صفة المقاومة لمبيد الحشائش أترازين atrazine من محصول الـ rapeseed إلى القنبيط ؛ عن طريق دمج بروتوبلازم المحصولين معًا ، ثم تعريض البروتوبلازم المندمج للأترازين . وقد أنتجت الخلايا التى أمكنها البقاء نباتات قنبيط مقاومة للمبيد (HortScience ١٩٨٨ - المجلد ٢٣- العدد ٣) . وقد أجرى الشئ نفسه بالنسبة للطماطم ؛ حيث هجنت مع النوع *Solanum nigrum* المقاوم للأترازين ، مع التخلص من نواة النوع الأخير وسيتوبلازم الطماطم ، وأمكن بذلك إنتاج سيبرد Cybrid يحتوى على الطماطم وسيتوبلازم *S . nigrum* الذى توجد به المقاومة للأترازين (عن Fobes ١٩٨٧) .

أما هجين الطماطم مع البطاطس .. فقد ظهرت به بعض صفات الأبوين ، رغم أنه كان أقرب دائمًا إلى أحدهما . ولذا .. فقد أطلق على الهجين اسم topato ، أو pomato حسبما تكون صفاته ، أقرب إلى الطماطم ، أو إلى البطاطس ، على التوالى . وقد تكونت لبعض النباتات الهجين درنات صغيرة بيضاء اللون ، وأزهار ، وثمار ، صفراء اللون ، لها نكهة الطماطم ، إلاّ أن جميع الأزهار كانت عقيمة ، وكانت الثمار خالية من البذور (عن Gaynor & Kaur-Shawney ١٩٨٥) .

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات مزارع البروتوبلازم فى إنتاج الهجن البعيدة .. يراجع Cooking (١٩٧٥، ١٩٨٣) ، و Schieder & Vasil (١٩٨٠) ، و Galun

(١٩٨٢) ، و Schieder (١٩٨٢) ، و Sink (١٩٨٤) ، و Gaynor & Kaur - Sawhney (١٩٨٥) ، و Power & Chapman (١٩٨٥) .

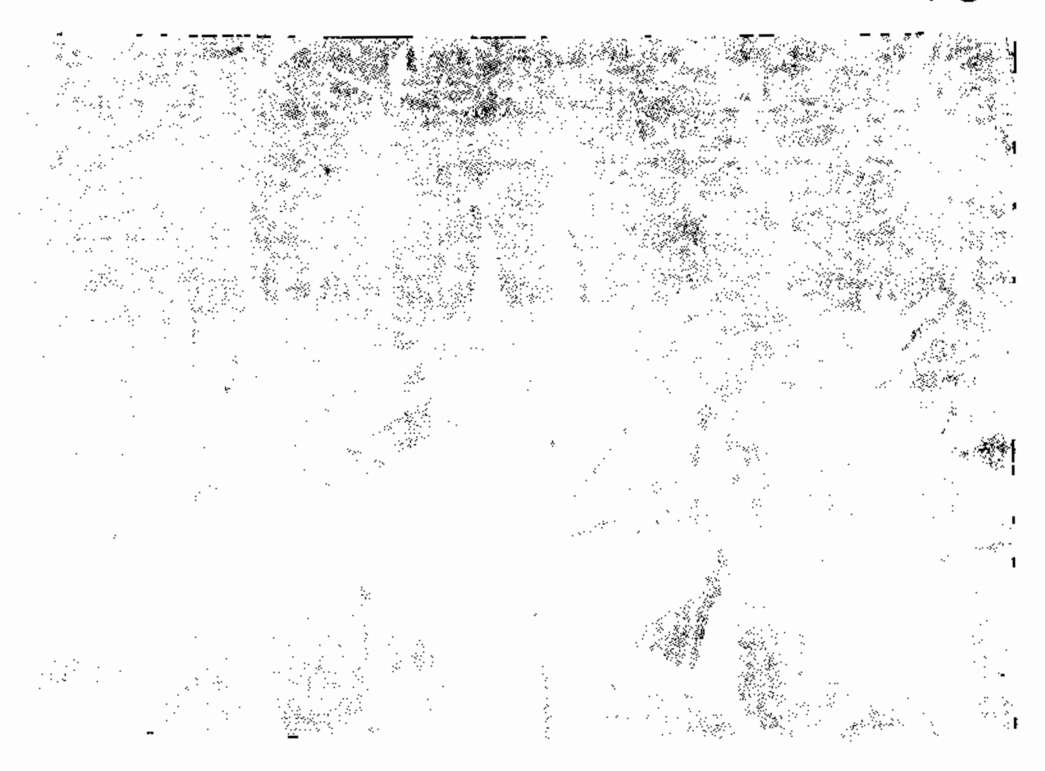
أهمية الإكثار الدقيق و مزارع القمة الميرستيمية

يتم إكثار السلالات الجديدة من المحاصيل التى لاتتكاثر جنسيًا ، إما خضريًا Vegetatively وإما لا إخصابياً Apomictically ، وتفيد كلتا الطريقتين فى إنتاج سلالات متجانسة تماماً ومشابهة للأصل الذى توصل إليه المربى ، والذى استخدم فى الإكثار . ويعطى الإكثار الخضرى سلالات خضرية Clones ، بينما يعطى الإكثار اللاإخصابى سلالات لا إخصابية Apomictic Lines . ويعاب على التكاثر الخضرى أن إنتاج أعداد كبيرة من نباتات الصنف الجديد تصلح للزراعة التجارية على نطاق واسع ، يستغرق عدة سنوات ، لايستفاد خلالها من الصنف الجديد . كما قد تصاب النباتات خلال عملية الإكثار بالفيروسات ؛ مما يترتب عليه انتشار الإصابة الفيرسية بين نباتات الصنف الجديد . أما التكاثر اللاإخصابى .. فيعيبه قلة الأنواع النباتية التى تتكون بها الأجنة اللاإخصابية ، فضلاً على صعوبة التمييز بين البادرات التى تنمو من أجنة جنسية ، وتلك التى تنمو من أجنة لاإخصائية فى حالة التكاثر اللاإخصابى الاختيارى . ومن العيوب الأخرى للتكاثر اللاإخصابى – مقارناً بالتكاثر الخضرى – طول فترة سكون البذور فى بعض الأنواع ، ووجود مرحلة حداثة Juvenile Phase طويلة فى أنواع كثيرة عند إكثارها بالبذور ؛ أما الإكثار الجنسى .. فلا يصلح لهذه الأنواع التى تكثر تجاريًا بوسائل غير جنسية لأنه يؤدى إلى إنتاج نباتات مخالفة للصنف الأصلى ، فضلاً على أن كثيراً من الأنواع النباتية لاتنتج بذوراً بالمرة ؛ مثل الموز ، والعنب البناتى ، والتين .

تتضح من المناقشة السابقة أهمية الإكثار الدقيق فى إكثار الأصناف الجديدة وإنتاج آلاف أو ملايين النباتات الصالحة للزراعة من قطعة مجهرية الحجم من النسيج النباتى فى وقت قصير للغاية . وقد بدأ استخدام هذه الطريقة مع نبات الأوركيد Orchid ثم انتشر استخدامها فى معظم النباتات الاقتصادية المهمة ، التى لاتكثر جنسياً مثل نخيل البلح (شكل ١٨-٤) والموز ونخيل الزيت وعديد من الفواكه الأخرى ، ونباتات الزينة مثل الجربيرا ؛ وبذلك .. أمكن تقليل الفترة ما بين إنتاج الأصناف الجديدة ، وانتشار زراعتها . كما أفادت هذه الطريقة فى التوسع فى زراعة الأصناف الجديدة خارج حدود

الدول التى أنتجت فيها ؛ نظراً لسهولة إجراءات الحجر الزراعى على النباتات النامية فى أنابيب الاختبار . وكان من المزايا الأخرى للإكثار الدقيق المحافظة على النباتات خالية من جميع الإصابات المرضية ، واستمرار عملية الإكثار على مدار العام ، دون التقيد بالمواسم الزراعية .

ويعدّ إنتاج نباتات من الجنس المطلوب من أكبر مزايا الإكثار الدقيق بالنسبة للأنواع الوحيدة الجنس الثنائية المسكن ؛ حيث تنتج – مثلاً – نباتات مذكرة فقط من الهليون ، ونباتات مؤنثة فقط من نخيل البلح ، كما يطمح الباحثون فى إنتاج نباتات مؤنثة فقط من البابااظ . ولاشك فى أن المحافظة على عشرات الآلاف من نباتات المشاتل فى أوعية زجاجية صغيرة فى مساحة من المختبر لاتتعدى عشرة أمتار مربعة يعد أمراً بالغ الأهمية من الوجهة الاقتصادية . وإلى جانب ما تقدم .. فإن مزارع الإكثار الدقيق يمكن الاستفادة منها فى إكثار هجن بعض الأنواع الجنسية التكاثر المرتفعة الثمن ؛ كهجن القنبيط ، والسلالات العقيمة الذكر المستخدمة كأمهات ، بدلاً من اتباع طريقة التهجين الرجعى كما فى البصل .



شكل (١٨ – ٤) : بادرات نخيل بلح منتجة بطريقة مزارع الإكثار الدقيق .

وفى مجال إكثار الهجن الجنسية .. تجرى محاولات لإنتاج بذور صناعية artificial seeds من هذه الهجن باتباع طرق الإكثار الدقيق . ويعمد العلماء - فى هذه الحالة - إلى إنتاج أجنة جسمية من خلايا الهجين الجنسى مباشرة بزراعة أنسجته (مثل نسيج الأوراق الفلقية) فى البيئات المناسبة ؛ وبذا ... يمكن الحصول على عدد كبير من الأجنة الجسمية من كل نبات هجين جنسى . تغلف هذه الأجنة بعد ذلك بأغلفة مناسبة - وهى العملية التى تعرف باسم encapsulation - ثم تزرع كالبذور العادية .

وللإكثار الدقيق دوره المباشر فى مجال تربية بعض الأنواع الحولية التى يتطلب تقييمها للصفات المرغوبة أن تحصد وتزال من الحقل (كما فى الخس ، والكرنب ، والكرفس) وهو ما يؤدى إلى فقدان قدرتها على النمو . ومن أمثلة ذلك صفات الصلاحية للتخزين ، والقدرة على تحمل عمليات التداول والشحن ، والمقاومة للعيوب الفسيولوجية والأمراض التالية للحصاد . وبرغم أنه يمكن أحياناً الإبقاء على جزء من النبات فى الحقل لحين إجراء التقييم .. إلا أن هذه الطريقة مكلفة ، وتتطلب جهداً إضافياً . وتقدم مزارع الإكثار الدقيق حلاً جيداً لهذه المشكلة ؛ بإكثار النباتات التى يتم انتخابها - بعد التقييم المختبرى - من القمم النامية ، أو البراعم الإبطية لهذه النباتات . وتحقيقاً لهذا الهدف .. قام Bloksberg & Saltveit (١٩٨٦) بتطوير تقنية إكثار نباتات الخس من البراعم الإبطية التى توجد فى الرؤوس .

ويفيد الإكثار الدقيق كذلك فى التغلب على مشاكل تقييم النباتات التى عمّرت سنوات كثيرة ، خاصة أشجار الغابات ؛ ففى هذه الأنواع .. تميل النباتات الجديدة إلى مشابهة النمو النباتى فى الجزء الذى استخدم فى الإكثار الخضرى من النبات الأم ، مما يؤدى إلى حدوث تباين واضح فى النمو النباتى بين نباتات السلالة الخضرية الواحدة . ويمكن التغلب على هذه المشكلة بالإكثار الدقيق لهذه الأشجار ؛ لأنه يؤدى إلى استعادة مرحلة الحداثة Juvenility فى جميع النباتات الجديدة المكثرة (عن Jensen ١٩٨١) .

ولمزيد من التفاصيل عن تطبيقات الإكثار الدقيق لمختلف المحاصيل الزراعية .. يراجع Yang (١٩٧٧) بالنسبة للهليون ، و Hussey (١٩٨٠ ، ١٩٨٣) بالنسبة للمحاصيل الإقتصادية عامة ، و Science and Education Administration (١٩٨٠) بالنسبة للفاكهة ، و Bottino (١٩٨١) بالنسبة للخضر ، و Congor (١٩٨١) بالنسبة للمحاصيل

الاقتصادية عامة ، و Evans وآخـرون (١٩٨١) ، و Hartmann & Kester (١٩٨٣) بالنسبة للمحاصيل البستانية ، و George (١٩٨٦) ، و Wooster & Dixon (١٩٨٧) بالنسبة للبطاطس .

أما مزارع القمة الميرستيمية .. فإن لها أهميتها البالغة فى ثلاثة جوانب تتعلق بإكثار النباتات الاقتصادية هى كما يلى :

١- الاستفادة من ظاهرة خلو القمم الميرستيمية من الإصابات الفيرسية فى عملية الإكثار الدقيق ذاتها ؛ لضمان خلو آلاف النباتات المنتجة بهذه الطريقة من أية إصابة فيرسية أو ميكوبلازمية .

٢- عمل إكثار أولى للنباتات الخضرية التكاثر التى تصاب بشدة بالأمراض الفيرسية ؛ لإنتاج تقاوٍ من الفئات الممتازة التى تكثر بعد ذلك خضرياً ، لإنتاج التقاوى التى يستخدمها المزارعون ؛ وتلك هى الطريقة التى تتبع فى إكثار تقاوى البطاطس والشليك الذى يصاب بنحو ٦٢ مرضاً تسببها فيروسات وميكروبلازمات .

٣- إعادة إنتاج نباتات خالية من الفيرس من الأصناف القديمة للمحاصيل الخضرية التكاثر التى لم يعد فيها نبات واحد خال من الإصابات الفيرسية ، كما حدث بالنسبة لبعض أصناف البطاطس . ولمزيد من التفاصيل عن تطبيقات مزارع القمة الميرستيمية يراجع Ingram & Helgeson (١٩٨٠) .

حفظ الجيرمبلازم

تسهل المحافظة على جيرمبلازم الأنواع التى تتكاثر جنسياً على صورة بذور ، وقد سبقت مناقشة هذا الموضوع فى الفصل الخامس ، أما حفظ جيرمبلازم الأنواع التى تتكاثر خضرياً .. فهو أمر باهظ التكاليف ؛ نظراً لأنه يتطلب تواجد الجيرمبلازم نامياً على الدوام فى حالة الأنواع المعمرة ؛ كالتفاح والكمثرى ، أو تجديد زراعتها سنوياً فى حالة الأنواع الحولية منها كالبطاطس . هذا فضلاً على صعوبة المحافظة عليها خالية دائماً من الإصابات الفيرسية . أما حفظ هذه الأنواع على صورة بذور .. فإنه يؤدى إلى تغيرات وراثية كبيرة فى السلالات المحتفظ بها ، ولايفيد سوى فى المحافظة على "الجينات" المهمة التى توجد بكل من هذه السلالات ؛ لأجل ذلك .. اتجه تفكير مربى النبات نحو مزارع

الأنسجة لحفظ سلالات وأصناف الأنواع الخضرية التكاثر ، وهو ما يحقق المزايا التالية :

١- حفظ أعداد كبيرة من السلالات فى مساحة صغيرة للغاية بالمختبر ، مع توفير النفقات التى تتطلبها زراعة وخدمة هذه السلالات فى الحقول .

٢- بقاء السلالات المخزنة خالية من جميع الإصابات المرضية ، خاصة الفيروسية منها .

٣- يمكن استخدام المزارع المحفوظة كتقاوى نواة لإكثارها وإنتاج أعداد كبيرة منها فى أى وقت حسب الحاجة .

٤- سهولة نقل مزارع السلالات من دولة إلى أخرى ، نظراً لخلوها من الإصابات المرضية .

إن أهم الأمور التى تجب مراعاتها عند حفظ الجيرمبلازم على صورة مزارع أنسجة هو تجنب تكرار زراعتها على فترات قصيرة ، حتى لاتتعرض للإصابات الميكروبية ، أو للأخطاء البشرية . ويتحقق هذا الهدف بحفظ المزارع إما مجمددة وإما مبردة .

حفظ المزارع بالتجميد

تحفظ مزارع الجيرمبلازم لفترات طويلة وهى مجمدة فى النيتروجين السائل على درجة - ١٩٦°م ، التى تفقد عندها الخلايا كل مظاهر نشاطها . ونظرياً .. فإن تطوير الطرق المناسبة لتجميد النسيج النباتى فى النيتروجين السائل ثم تفكيكه (إذابته) دون أن تحدث له أية أضرار ، يعنى إمكان حفظه بهذه الطريقة إلى مالا نهاية. وكما هو معلوم .. فإن السائل المنوى للحيوانات الزراعية يحفظ فى النتيروجين السائل بشكل روتينى لأغراض التلقيح الصناعى .

تعتبر مزارع الأعضاء النباتية مثل مزارع القمة النامية ، ومزارع الأجنة ، ومزارع الإكثار الدقيق هى أنسب المزارع لحفظها بالتجميد للأسباب التالية :

١- تجنب وجود أية اختلافات وراثية عند بدء التخزين ، وهو الأمر الذى قد يحدث فى مزارع الكالس ومعلقات الخلايا .

٢- تجنب التغيرات الوراثية الكثيرة ، التى يمكن حدوثها فى مزارع الكالس ، ومزارع معلقات الخلايا خلال فترة التخزين الطويلة .

٣- تحتفظ مزارع الأعضاء بقدرتها على استمرار النمو لتكوين نباتات جديدة خلال فترة التخزين ، بينما تفقد الخلايا فى مزارع الخلايا قدرتها على إنتاج النباتات الجديدة (أى تفقد خاصية الـ totipotency) خلال فترات التخزين الطويلة . هذا .. فضلاً على أن مزارع الخلايا لم يمكن دفعها لإنتاج النموات الخضرية فى عديد من الأنواع النباتية .

٤- يمكن المحافظة على الحالة الأحادية فى النباتات الأحادية بسهولة وهى على صورة مزارع القمم الميرسيتمية والبراعم الإبطية ، بينما لاتبقى السلالات على الحالة الأحادية فى مزارع الكالس .

٥- تكون خلايا القمم النامية والأجنة (وهى خلايا ميرستيمية) أكثر قدرة على تحمل عمليتى التجميد والتفكك .

وقد استخدمت طريقة التجميد فى حفظ الجيرمبلازم لفترات تجريبية قصيرة نسبياً (تراوحت من خمس دقائق إلى شهرين) فى عدة أنواع نباتية ، وكان منها الجزر ، والشليك ، والطماطم ، والدخان والبسلة ، والبطاطس ، والذرة ، ويلاحظ أن معظم هذه الأنواع تتكاثر جنسياً ، ولكنها تتميز بأن تقنيات مزارع القمم الميرستيمية أو مزارع الأجنة قد تقدمت فيها بدرجة كبيرة ، إلى درجة سمحت بتجربة استخدامها فى تطوير تقنيات حفظها بالتجميد .

حفظ المزارع بالتبريد

يمكن حفظ المزارع فى درجات حرارة منخفضة ، تتراوح من ١ - ٩°م . يعمل هذا المجال الحرارى على إبطاء تدهور النسيج النباتى ، ولكنه لايمنعه ، ويعنى ذلك ضرورة إعادة زراعة النسيج على فترات متباعدة نسبياً . وتستخدم هذه الطريقة - حاليا - فى تخزين جيرمبلازم الشليك ، وعديد من نباتات الفاكهة مثل التفاح والعنب .

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات مزارع الأنسجة فى حفظ الجيرمبلازم .. يراجع Morel (١٩٧٥) ، و Henshaw وآخرون (١٩٨٠ ، ١٩٨٢) ، و Withers (١٩٨٠ ، ١٩٨٢) .

مصادر إضافية لأوجه الاستفادة من مزارع الأنسجة فى تربية النبات

لمزيد من التفاصيل عن تطبيقات مختلف أنواع مزارع الأنسجة فى شتى مجالات تربية النبات يراجع كل مما يلى : Morel (١٩٧٢) ، و Ledoux (١٩٧٥) ، و Street (١٩٧٥) Murashige (١٩٧٧) ، و Day (١٩٨٠) ، و Cooking & Riley (١٩٨١) ، و Jensen (١٩٨١) ، و Thorpe (١٩٨١) ، و Vasil وآخرون (١٩٨٢) ، و Bhojwani & Razdan (١٩٨٣) ، و Mantell & Smith (١٩٨٣) ، و Bliss (١٩٨٤) ، و Cailloux (١٩٨٤) ، و Ching (١٩٨٥) ، والمرضى (١٩٨٦) ، و Fobes (١٩٨٧) و Hermsen (١٩٨٧) .

الهندسة الوراثية

يستعمل مصطلح الهندسة الوراثية Genetic Enginering - أحياناً - كمرادف لمصطلح التقنية البيولوجية Biotechnology ، إلاّ أن المصطلح الأخير أوسع وأشمل ، ويدخل ضمنه كل تقنيات الهندسة الوراثية . وتتضمن التقنيات البيولوجية - إلى جانب الهندسة الوراثية - كل تقنيات مزارع الخلايا ، والأنسجة ، والبروتوبلازم ، واندماج البرتوبلازم ، وتقنيات أخرى تهم الصناعات التى تعتمد على نظم حيوية معينة . أما الهندسة الوراثية .. فيعنى بها عزل وتنقية جينات معينة ، وإدخالها بتقنيات خاصة فى الكائنات الحية لتغييرها وراثياً .

يعود الفضل فى دراسات الهندسة الوراثية إلى البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* التى تصيب معظم النباتات ذات الفلقتين (تتوزع العوائل فى أكثر من ٩٠ عائلة نباتية) وتحدث تدرنات بها . توجد فى نواة هذه البكتريا قطعة كروموسومية تعتبر كبيرة نسبياً ، تعرف باسم Tuber - inducing plasmid (تكتب اختصاراً T-i plasmid) تتميز بخاصية الانفصال عن البكتريا ، والدخول إلى خلية العائل حاملة معها بعض الجينات ، التى تتسلط على جينات العائل وتجعلها تكثر من الانقسام فيحدث التدرن ، وتتكون بروتينات لاستعمال البكتريا فقط .

يتميز النسيج الذى تحدثه البكتريا *A. tumfaciens* بقدرته على النمو فى البيئات الصناعية البسيطة دون إضافة أية أوكسينات ، أو سيتوكينينات ، وبقدرته على تمثيل واحد

أو أكثر من مشتقات الأحماض الأمينية الأساسية ، يطلق عليها اسم أوبينات Opines . ولاتوجد هذه الأوبينات فى الأنسجة السليمة ، وتستفيد منها البكتريا فى الأنسجة المصابة . ويتحكم فى ذلك كله الـ T- i plasmid الذى تدخله البكتريا فى خلايا العائل . ويعد ذلك تحولاً وراثياً genetic transformation ؛ مثل التحولات الوراثية التى عرفت فى الكائنات الدقيقة (عن Schell وآخرين ١٩٨٢) .

تعتمد الهندسة الوراثية على التعرف على الجينات المرغوبة – أولا – وتحديد مكانها على كروموسومات الأنواع التى توجد فيها ، ثم فصلها عنهابطرق متقدمة ، يمكن الرجوع إلى تفاصيلها فى Flavell (١٩٨٢) .

ويلى ذلك إدخال الجين المرغوب فى الـ T-i plasmid للبكتريا *A. tumfaciens* قبل إصابتها للعائل . وعندما تحدث الإصابة تقوم البكتريا بنقل الـ T-i plasmid المحتوى على الجين المرغوب إلى نواة العائل ، ويتعرف على هذه الخلايا بقدرتها على النمو فى البيئات البسيطة التى لاتحوى هرمونات . ومن الطبيعى أن تكون الخطوة التالية هى إنتاج نباتات غير متدرنة من هذه الخلايا المتحولة وراثياً . وإذا تحقق ذلك يصبح بالإمكان تحسين جميع النباتات ذات الفلقتين التى تصاب بالبكتريا *A.tumfaciens* بإضافة أية صفات مرغوبة إليها من أى نوع نباتى توجد به هذه الصفات .

وقد استخدمت البكتريا *A. tumfaciens* – على سبيل المثال – فى نقل جينات من مصادر مختلفة إلى الطماطم ، منها جينات من أصناف أخرى من الطماطم ، ومن البكتريا والفيروسات ، والبقوليات ، والذرة ، ومن نباتات أخرى من العائلة الباذنجانية . ومع ذلك .. فلم يمكن – إلى الآن – إنتاج صنف جديد من الطماطم استفيد فى عملية إنتاجه من تقنيات الهندسة الوراثية (عن Fobes ١٩٨٧) . ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات الـ T-i plasmids فى مجال الهندسة الوراثية .. يراجع Chiltom (١٩٨٠) ، و Schell (١٩٨٢) ، و Schroder وآخرون (١٩٨٣) .

تتميز الفيروسات – كذلك – بقدرتها على إصابة النباتات ونقل أحماضها النووية إلى عوائلها ، لذا .. فإنها تستخدم هى الأخرى لأغراض الهندسة الوراثية ، ويستفاد فى هذا الشأن من الفيروسات التى يكون حامضها النووى من نوع دى إن إيه DNA سواء أكانت

مزدوجة الخيط double - stranded (مجموعة Caulimovirus التى يعرف منها ١٢ فيرساً ؛ مثل فيرس تبرقش القنبيط Cauliflower Mosaic Virus الذى يتكون من دى إن إيه مزدوج الخيط double - stranded DNA ويصيب نباتات العائلة الصليبية بصفة أساسية) أو مفردة الخيط Single - stranded DNA (مثل فيروسات مجموعة الجمنى geminii viruses ، التى يوجد منها أكثر من ١٢ فيرساً ، منها فيرس تبرقش القاصوليا الذهبى ، وفيرس تخطيط الذره) .

ولكن يعاب على استخدام الفيروسات فى مجال الهندسة الوراثية أنه لم يمكن إضافة قطعة دى إن إيه كبيرة إلى الحامض النووى الخاص بالفيرس دون التأثير فى قدرته على إصابة العائل ، وهى الخطوة الضرورية لإحداث التحول المطلوب . كما أن الجينات الصغيرة المضافة تبطئ حركة الفيرس من خلية إلى أخرى ، ويرجع ذلك إلى أن الحامض النووى الخاص بالفيروس صغير بطبيعته فهو لايتعدى واحدا من ثلاثين جزءاً من الـ T - i plasmid (Kado ١٩٨٢) .

وقد تبين أن دى إن إيه فيرس تبرقش القنبيط يحمل ستة جينات ، ليس لأحدها (وهو الجين رقم II) ضرورة بالنسبة لتكاثر الفيرس ، أو تمثيل بروتين الفيرس ، أو حركة الفيرس من خلية إلى أخرى ، ولكنه يؤثر فى عملية الانتقال الحشرى الفيرسى فى الطبيعة ، ويعد هذا الجين موقعاً مناسباً لإضافة الجينات المرغوبة إلى دى إن إيه الفيرس . كما وجدت منطقة كروموسومية أخرى عن دى إن إيه الفيرس (هى الجين رقم VI) تتحكم فى شدة أعراض المرض ، حيث يؤثر أى تغيير فى هذه المنطقة كثيراً على شدة الأعراض . ووجد أن أعراض الإصابة بالفيرس ، قد تلاشت تقريباً حينما أضيفت ١٢ نيكليوتيدة فى هذا الموقع الجينى ، ونمت النباتات التى تمت عدواها بهذه الطفرة من الفيرس بصورة طبيعية (Shepherd وآخرون ١٩٨٢) . ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات الفيروسات فى مجال الهندسة الوراثية .. يراجع Hull (١٩٨٣) .

وقد تبين من الدراسات التى أجريت على التحولات الوراثية فى الفطريات والخلايا الحيوانية أن عدم وجود الجدر الخلوية أو التخلص منها ، وتحضين البروتوبلازم مع الـ DNA المرغوب فيه فى ظروف مهيئة للاندماج البروتوبلازمى يعد ضروريا لزيادة كفاءة عملية التحول الوراثى ، ويستفاد من ذلك فى النباتات بتحضين البروتوبلازم مع ناقل

أومُوجه الـ دى إن إيه DNA vector الذى يحمل الجين المرغوب . يظهر تأثير الجين بعد أن يكتسب البروتوبلازم الجدر الخلوية من جديد، ثم تتميز منه النباتات التى نقل إليها هذا الجين . يقتصر اتباع هذه الطريقة فى الوقت الحاضر على النباتات التى تنجح فيها زراعة البروتوبلازم وتتميز منها النباتات ، وأغلبها من العائله الباذنجانية .

ويتجـه البعض إلى الحقن المباشر للدى إن إيه المرغوب فيـه - بعد تنقيتـه - فى جاميطات النبات الذى يُراد تحويله وراثياً ، وبذلك تصل الجينات المرغوبة إلى حبوب اللقاح أو البيضات مباشرة . يبدو أن لهذه الطريقة أهميتها فى نباتات الحبوب ، والبقول التى لم ينجح فيها إنتاج النباتات من مزارع البروتوبلازم ، بالإضافة إلى أن نباتات الحبوب هى من نوات الفلقة الواحدة التى لاتصاب بالبكتيريا *A. . tumfaciens* .

وقد كانت آخر محاولات الهندسة الوراثية هى قذف النسيج النباتى الذى يراد تحويله وراثياً (مثل قطعة من نسيج ورقى أو مزرعة خلايا) بالجين المرغوب (الدى إن إيه النقى) وهو محمل على كريات صغيرة جداً beads ، ويستخدم لذلك جهاز خاص لقذف الجينات بقوة كبيرة تحت تفريغ ، يعرف باسم micro injector ؛ تخترق الكريات المحملة بالجينات خلايا النسيج النباتى الذى يعطى - عند وضعه فى بيئة مناسبة - نسيجاً من الكالس تكون بعض أجزائه من الخلايا التى حدث بها التحول الوراثى .

لقد فكر العلماء فى نقل الجـينات nif المسئولة عن تثبيت النيتروجين الجـوى (Nitrogen Fixation) من إحدى سلالات بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى من النوع *Rhizobium juponicum* التى تعيش معيشة تعاونية مع جذور فول الصويا - إلى المحاصيل الزراعية الهامة ؛ مثل القمح و الذرة . وقد نجح العلماء فى عزل كروموسوم البكـتريا *R. japonicum* وتنقيته لإدخاله فى البكتيريا *Escherici coli* . وقُدِّر أن إدخال الكروموسوم الكامل للبكتريا *Rhizobium* فى البكتيريا *E . coli* يتطلب نحـو ٢٠٠٠ - ٤٠٠٠ تحويل وراثى مستقل indepent transformations ، ووجد لدى فحص ٣٣٢٥ من هذه التحولات الوراثية فى *E. coli* أن ٢١ منها احتوت على قطعة من دى إن إيه البكتيريا *R. japonicum* يوجد بها الجينات nif . وقد مكّن ذلك العلماء من دراسة تأثير هذه الجينات عند زراعة البكتيريا *E . coli* - التى نقلت إليها الجينات - فى بيئات صناعية . هذا . ويتطلب تثبيت آزوت الهواء الجوى - بواسطة بكتيريا العقد الجذرية فى

جذور البقوليات – بذل طاقة كبيرة من جانب النبات ، وقد قدر أحد الباحثين أن الطاقة التي تفقد لهذا الغرض في حقول فول الصويا بالولايات المتحدة تعادل كل الطاقة التي تستخدمها بريطانيا لمدة ثلاثة شهور .

وقد تبين أن بعض سلالات البكتيريا *R. japonicum* تحتوى على جينات لاستقبال الأيدروجين hup genes ، وهو ما يعني أن نباتات فول الصويا التي تحتوى عقدها الجذرية nodules على هذه البكتيريا تكون أكثر كفاءة من النباتات الأخرى . كما تبين أن هذه الجينات توجد على plasmids ، وهو ما يعني إمكانية انتقالها من خلية بكتيرية إلى أخرى في حالات التزاوج البكتيرى Conjugation ، وإذا أمكن نقل هذه الجينات إلى البكتيريا *R . japomicun* التي تفتقر إليها .. فإن ذلك يوفر على النبات كثيراً من الطاقة التي تنعكس إيجابياً على المحصول (عن Valentine ١٩٨٢) .

إن الأهمية الكبرى للهندسة الوراثية تكمن في أنه أصبح في الإمكان فصل جينات مرغوب فيها بصورة نقية ، وإدخالها في نباتات من نفس النوع ، أو من أنواع أخرى . تماثل هذه الخطوة في نتائجها برنامجاً كاملاً للتربية بطريقة التهجين الرجعي ، دون الدخول في أي من مشاكل التربية ، خاصة ارتباط الصفات المرغوب فيها بصفات أخرى غير مرغوب فيها . كما أن تأثير الجين يتحدد – جزئيا – بموقعه من الجينات الأخرى على الكروموسوم ؛ وعليه .. فإن إدخال جين ما إلى مواقع مختلفة من الكروموسومات يعني الحصول على تباينات وراثية ، لاتتوفر في الظروف الطبيعية ؛ نظرا لأن الجين يحتل موقعاً ثابتاً على الكروموسوم . ومن المؤكد أن النباتات الجديدة المتحولة وراثيًا .. سوف تختلف في عدد نسخ الجين التي تنقل إليها ، والموقع (أو المواقع) الكروموسومية التي تستقر بها هذه النسخ الجينية وينتج عن ذلك كله .. تباينات لا حصر لها ، قد يكون بعضها مرغوباً فيه ؛ ويعني ذلك أن خطوة انتخاب النباتات المرغوب فيها بعد إحداث التحول الوراثي لاتقل أهمية عن عملية التحول الوراثي ذاتها ، كما يعني – كذلك – ضرورة إنتاج تحولات وراثية كثيرة ؛ لكي تزيد فرصة الحصول على تغيرات مرغوب فيها (عن Flavell ١٩٨٢) .

تتبقى كلمة أخيرة في هذا الموضوع ، وهي أن تربية النبات ليست مجرد نقل جين مرغوب فيه من نوع نباتي إلى آخر ، بل إنها تتضمن خطوات كثيرة ، وتقييماً مستمراً لكي ينتهي البرنامج بصنف يقبله المزارعون ، والمستهلكون ، ويكون له مستقبل في الزراعة .

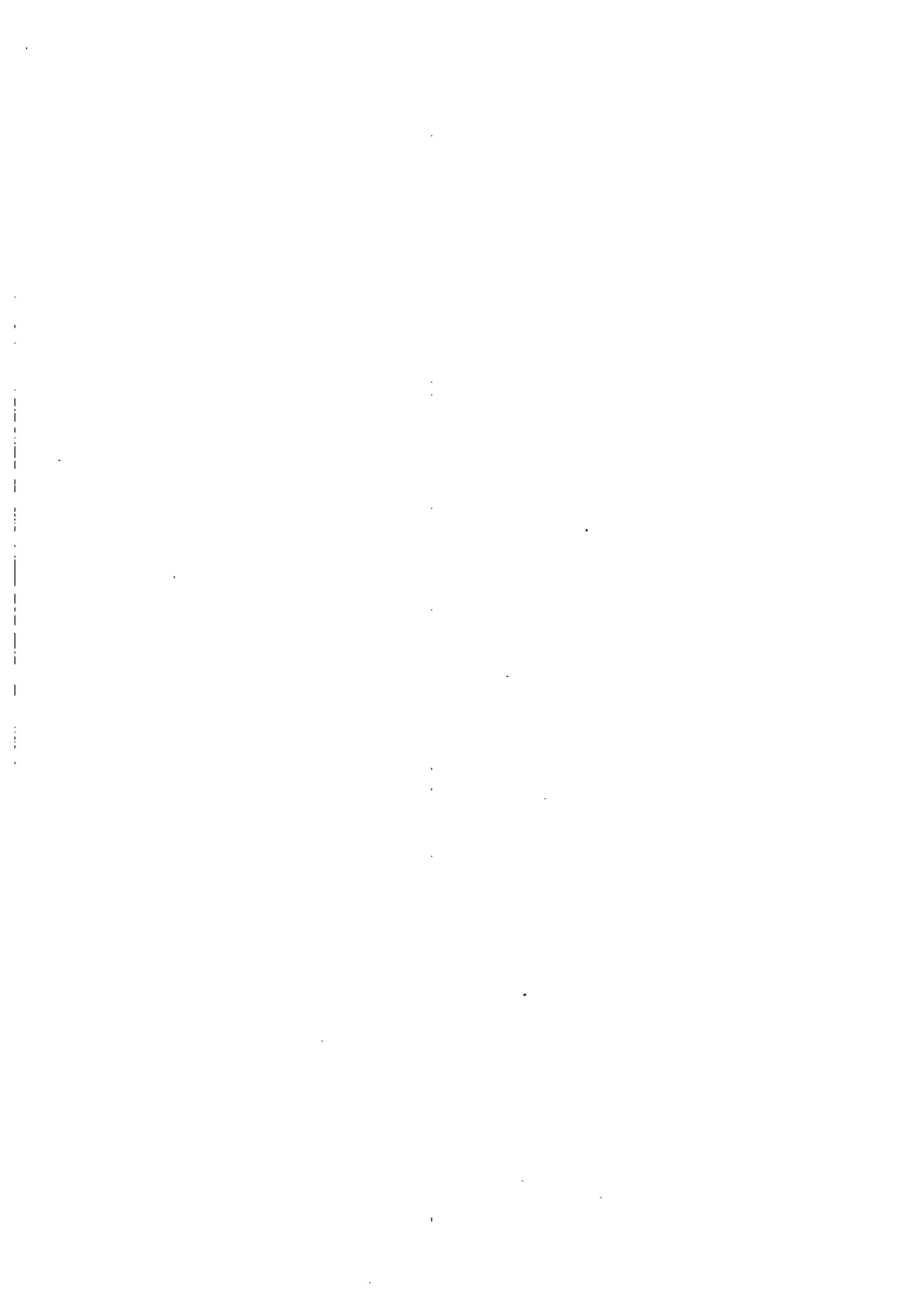
التجارية ، ولايتحقق ذلك بالهندسة الوراثية وحدها ؛ فلابد من التعاون الوثيق بين علماء الهندسة الوراثية ، ومربى النبات ، لكى تعطى الهندسة الوراثية ثمارها ؛ فهى ليست أكثر من أداة لزيادة الاختلافات الوراثية ، أما تطوير الجيرمبلازم الجديد إلى أن يصبح صنفاً مقبولاً .. فإنه يبقى من مهام مربى النبات (عن Moore ١٩٨٨) .

وينبغى أن نتذكر أن الهندسة الوراثية لم تثمر – حتى الآن – صنفاً واحدًا جديداً من الطماطم – مثلاً – التى تعد من أكثر المحاصيل ، التى أجريت عليها دراسات الهندسة الوراثية ، وأكثرها مناسبة لهذه النوعية من الدراسات (Fobes ١٩٨٧) ولايمكننا عمل توقعات بشأن مايمكن أن تضيفه الهندسة الوراثية إلى تربية النبات ، إلى أن تظهر فعلاً بعض هذه الإضافات إلى حيز الوجود (Ryder ١٩٨٤) ، مثلما ظهرت بالنسبة لحقل الطب ؛ حيث كان أول نشاط عملى للهندسة الوراثية تحديد وتنقية الجين المسئول عن إنتاج هرمون الأنسلين وإدخاله فى البكتريا *E. coli* بواسطة الـ T-i plasmid لتصبح بدورها قادرة على إنتاج الأنسلين عوضاً عن استخراجه من غدد الحيوانات المذبوحة (عن نجار ١٩٨٦) .

ولمزيد من التفاصيل عن الهندسة الوراثية واستخداماتها فى مجال تحسين النباتات .. يراجع McDaniel (١٩٨١) ، و Panopoulos (١٩٨١) ، و Rachie & Lyman (١٩٨١) ، و Univ . Calif . (١٩٨٢) ، و Flavell (١٩٨٢) ، و Bliss (١٩٨٤) .

القسم الرابع

الجوانب العملية والإجرائية
فى تربية النبات



الفصل التاسع عشر

أساسيات وطرق إجراء التلقيحات فى النباتات

لايكاد يخلو أى برنامج لتربية النباتات من إجراء التلقيحات ، سواء أكانت ذاتية ، أم خليطة بين النباتات المنتخبة ؛ لذا .. فإن الإلمام بطبيعة الإزهار فى المحصول ، والعوامل التى تتحكم فيه ، وطرق إجراء التلقيحات الذاتية والخلطية به ..تعد من الأمور المهمة بالنسبة للمربى ، وهى التى نتناولها بالدراسة فى هذا الفصل . وتجنباً للتكرار .. فإن على المربى أن يكون ملماً بكافة الحقائق النباتية والوراثية التى تتعلق بالمحصول ، والتى سبق بيانها فى القسم الأول من هذا الكتاب ، خاصة .. تلك التى تتعلق بطرق تكاثر المحصول ، التى وردت فى الفصل الثانى .

دفع النباتات إلى الإزهار

تنبغى زراعة المحصول الذى يُراد تربيته فى الموعد المناسب لإزهاره ؛ نظراً لأن الإزهار يتأثر نوعيًا (أى يحدث أو لا يحدث) ، وكميًا (أى بالنسبة لموعده وكثافته) بالعوامل البيئية ، خاصة : درجة الحرارة ، والفترة الضوئية . وتعد دراسة الإزهار والعوامل المتحكمة فيه من الأمور الفسيولوجية التى يمكن الرجوع إلى تفاصيلها فى المراجع التى تتناول هذا الموضوع ؛ مثل Devlin (١٩٧٥) ، Leopold & Kriedmann (١٩٧٥) ، و Vince - Prue (١٩٧٥) ، و Salisbury (١٩٨٢) ، وحسن (١٩٨٨) .

ويلجأ المربى – أحيانا – إلى طرق خاصة لدفع النباتات نحو الإزهار ؛ لتحقيق أحد هدفين كما يلى :

١- تقصير فترة برنامج التربية ؛ بدفع النباتات نحو الإزهار فى وقت مبكر عما يحدث فى الظروف الطبيعية ، ويتم ذلك بالتحكم فى درجات الحرارة ، والفترة الضوئية ، مع زراعة النباتات فى بيوت محمية .

٢- الحصول على بذور من محاصيل تتكاثر خضريا فى الطبيعية ، ونادراً ما تزهر فى الظروف الطبيعية ، ومن أمثلتها .. البطاطا التى لاتزهر عادة ، ولكن أمكن دفعها للإزهار بالطرق التالية

أ- تربية النباتات على أسلاك ، مع تحليقها جزئيًا ؛ لتقليل تدفق الغذاء المجهز إلى الجذور الدرنية ، بغرض زيادة المواد الكربوهيدراتية فى النموات الخضرية .

ب- تطعيم الأصناف الصعبة الإزهار على الأصناف السهلة الإزهار ، ويؤدى ذلك إلى التبكير فى الإزهار ، مع زيادة نسبة النباتات المزهرة ، وعدد الأزهار المنتجة يوميًا .

العوامل التى يجب مراعاتها عند إجراء التلقيحات

يجب مراعاة العوامل التالية عند إجراء التلقيحات :

١- مدى تركيز الصفات المرغوب فيها فى الآباء المستخدمة فى التلقيحات :

يتطلب الأمر – أحياناً – إخضاع الآباء المستخدمة فى التلقيحات للتربية الداخلية قبل إجراء التلقيحات ؛ بغرض زيادة تركيز الصفات المرغوبة بها ، وجعلها فى حالة أصيلة ، ولاتكون هذه الخطوة ضرورية إذا وجدت الصفات المرغوبة بحالة أصيلة ، بمعنى أنه ليس ضرورياً ولا مرغوباً – فى المحاصيل الخليطة بطبيعتها – أن تكون الآباء المستخدمة فى التلقيحات أصيلة فى غير الصفات المرغوبة . وقد يتطلب الأمر فى حالات أخرى تلقيح صنفين متوسطين فى درجة ظهور الصفة المرغوبة ؛ بغرض الحصول على انعزالات فائقة الحدود ، تحتوى على الصفات المرغوبة بدرجة أكثر تركيزاً لاستعمالها كآباء فى التلقيحات .

٢- عدد التلقيحات التى ينبغى عملها للحصول على البذور المطلوبة ، ويتوقف ذلك على عدد البذور التى تنتج من كل تلقيح ، وعلى استخدامات هذه البذور ، أهى لبرامج التربية أم أنها للهجن التجارية .

٣- العوامل المؤثرة على عقد البذور ، التى منها ما يلى :

أ- العوامل البيئية ؛ خاصة درجة الحرارة ، والرطوبة الجوية ، والرياح .

ب- حالة النبات الفسيولوجية ، وهى التى تتأثر بقوة النمو النباتى ، وكثافة العقد السابقة ، وكون الثمار التى سبق تكوينها طبيعياً - قبل التلقيحات - قد خفت أم تركت لتنمو .

جـ- درجة إتقان عملية التلقيح اليدوى ، ومدى إتلاف الزهرة عند تداولها ، ومدى خدش المياسم ، ونوع الغطاء المستعمل فى حماية الزهرة من التلوث بحبوب لقاح غريبة قبل إجراء التلقيحات وبعد إجرائها ، وكمية حبوب اللقاح المستخدمة فى التلقيح .

٤- طرق حماية الأزهار من التلوث بحبوب اللقاح الغريبة :

تجب مراعاة ما يلى :

أ- تكييس أزهار النباتات المستخدمة كآباء قبل تفتحها بيوم ، لمنع تلوثها بحبوب لقاح غريبة ، ويعد هذا الإجراء ضرورة حتمية بالنسبة للمحاصيل الخلطية التلقيح .

ب- تكييس الأزهار الأنثوية للنباتات المستخدمة كأمهات (عندما تكون وحيدة الجنس) ، قبل تفتحها بيوم ؛ لمنع تلوثها - كذلك - بحبوب لقاح غريبة .

جـ- خصى الأزهار الخنثى للنباتات المستخدمة كأمهات قبل تفتحها بيوم ، ثم تكييسها لمنع تلوث مياسمها بحبوب لقاح من نفس الزهرة ، أو من أزهار أخرى . ولاتكون عملية الخصى ضرورية عندما تكون الأزهار عقيمة ذاتيًا بدرجة عالية ؛ بسبب وجود ظاهرة عدم التوافق الذاتى ، أو العقم الذكرى ، أو اختلاف موعد نضج أعضاء الزهرة الجنسية .

د- تكييس الأزهار بعد إجراء التلقيحات ، ويعد هذا الإجراء ضرورة حتمية بالنسبة للمحاصيل الخلطية التلقيح ، ولكنه ربما لايكون ضروريًا فى حالة المحاصيل الذاتية التلقيح ، خاصة عند ضعف النشاط الحشرى .

هـ- تعقيم الأصابع والأدوات التى تلامس حبوب اللقاح قبل كل تلقيح ، بغمسها فى الكحول .

ويمكن الحماية من التلوث بحبوب اللقاح الغريبة بعدة طرق ، منها ما يلى : زراعة النباتات فى معزل داخل حجرات زجاجية (عندما يكون التلقيح خلطيًا بالهواء) ، أو

حجرات سلكية (عندما يكون التلقيح خلطيًا بالحشرات) ، أو بتغطية النورات ، أو الأزهار بأكياس قماشية ، أو ورقية ؛ ويمكن غلق الأزهار المتوسطة والكبيرة الحجم بكلبسات خاصة ، كما يمكن غلق الأزهار الصغيرة والمتوسطة الحجم بكبسولات جيلاتينية فارغة ، أو بلف قطعة صغيرة من القطن حولها .

يراعى عند استخدام كبسولات الجيلاتين اختيار كبسولة بحجم يناسب زهرة النبات الذى يراد تلقيحه . يعمل بأحد جزأى الكبسولة قطع صغير على شكل حرف V وتدفع الزهرة داخل هذا الجزء ، مع جعل عنقها فى الفتحة التى على شكل حرف V ، ثم يغلق على الزهرة بالجزء الثانى من الكبسولة ، بحيث يبرز عنق الزهرة من الفتحة ، ويمكن لف قطعة قطن مبللة بالماء حول عنق الزهرة ، لإحكام غلق الكبسولة ، كما يمكن استبدال الماء المستخدم فى بل قطعة القطن بمحلول لأحد منظمات النمو المناسبة ، التى يمكن أن تساعد على العقد ، وتمنع تساقط الأزهار فى التلقيحات البعيدة (McArdle & Bouwkamp ١٩٨٠) . ويمكن فتح الكبسولة - بسهولة - بعد التأكد من نجاح التلقيح بإعادة بل قطعة القطن بالماء . ويكتفى - أحيانا - بتغطية الزهرة الملقحة بنصف كبسولة مع لف قطعة من القطن حول عنق الزهرة .

وقد وجدت Ng (١٩٨٨) أن تغطية خطوط نباتات القاوون فى الحقل بأغطية البوليستر المحمولة على النباتات Spun - bonded Polyster Covers - مع ردم حواف الغطاء بالتربة - كان بديلاً جيداً للأقفاص ، أو الحجرات السلكية wire mesh cages ؛ إذ أدى الغطاء إلى منع الحشرات من عمل تلقيحات غير مرغوب فيها ، وظلت النباتات المغطاة ، دون عقد إلى حين الرغبة فى إجراء التلقيحات اليدوية بها ، كما أمكن تلقيحها - ذاتيًا - بسهولة بإدخال النحل تحت الغطاء ، ويتوقع نجاح هذه الطريقة مع بعض المحاصيل الأخرى مثل : الخيار والكوسة .

٥- طرق إجراء عملية الخصى :

تتبع فى خصى الأزهار إحدى الطرق التالية :

أ- إزالة المتوك أو الأسدية بأكملها بالملقط ، أو ظفر الإبهام ، أو مجرد قطع النورة المذكرة كما فى الذرة .

ب- التخلص من حبوب اللقاح بغمس الزهرة فى كحول إيثيلى ٨٥٪ لمدة ١٠ دقائق كما فى حالة البرسيم الحجازى .

جـ- قتل حبوب اللقاح بالمعاملة بالماء البارد ، أو الساخن ؛ فينجح التبريد - إلى درجة الصفر - مع القمح والأرز ؛ كما يمكن التخلص من حبوب اللقاح فى الذرة الرفيعة ، والأرز ، وبعض النجيليات الأخرى ؛ بغمس أزهارها مدة تتراوح من دقيقة إلى عشر دقائق فى ماء تتراوح درجة حرارته من ٤٥ - ٤٨°م . وتجرى المعاملة بالماء البارد ، أو الساخن ؛ بغمس الأزهار فى ترموس ذى فوهة واسعة مملوء بالماء إلى الدرجة المطلوبة .

د- شفط حبوب اللقاح بجهاز يحدث تفريغاً .

٦- موعد عملية التلقيح وطبيعة الإزهار :

قد يجرى التلقيح فى نفس وقت إجراء عملية الخصى كما فى الطماطم ، أو فى صباح اليوم التالى كما فى القرعيات ، أو بعد ١ - ٥ أيام من عملية الخصى كما فى محاصيل الحبوب .

يتطلب نجاح التلقيحات معرفة موعد تفتح الأزهار ، وموعد نثر حبوب اللقاح ، وموعد استعداد المياسم للتلقيح .

٧- توافق موعد الإزهار فى الآباء :

غنى عن البيان أن الصنفين الملقحين يجب أن يزهرا -معاً- فى وقت واحد . ويمكن تأمين ذلك باختيار الموعد المناسب للزراعة إذا عرف - سلفاً - موعد إزهار الآباء ، أو بزراعة أحد الصنفين فى ٣ - ٤ مواعيد على فترات كل أسبوعين ؛ حتى يتوافق الإزهار فى إحدى هذه الزراعات مع الإزهارفى الصنف الآخر .

٨- طرق تجميع حبوب اللقاح ومعاملة المياسم بها :

يكفى - فى حالات العقم الذكرى - ضم نورات الآباء الخصبة الذكر ، ونورات الأمهات العقيم الذكر - معًا - فى كيس قماش cage واحد ، مع إدخال بعض الذباب الخالى من حبوب اللقاح الغريبة داخل الكيس ، لإتمام عملية التلقيح كما فى الخس . ويمكن فى محاصيل أخرى هزّ الأزهار ، أو النورات المكيّسة - معًا - على فترات ؛ لاتمام عملية

التلقيح . وقد تجمع حبوب اللقاح من الآباء داخل أكياس ورقية كما فى الذرة ؛ أو تجمع يدويًا ، أو بواسطة آلة يدوية صغيرة ، تعمل بالبطارية وتولد ذبذبات تساعد على انتشار حبوب اللقاح من المتوك كما فى الطماطم . وتضاف حبوب اللقاح إلى المياسم ، إما بواسطة فرشاة من شعر الجمل ، وإما بإمرار الميسم برفق على ظفر الإبهام بعد تجميع حبوب اللقاح عليه ، وإما بقطف زهرة الآب ، وجعل متكها يلامس ميسم زهرة الأم كما فى القرعيات .

٩- حيوية حبوب اللقاح :

تفقد حبوب اللقاح حيويتها فى خلال دقائق معدودة من انتثارها من المتوك فى بعض المحاصيل كما فى كثير من الحبوب . ويلزم - فى هذه الحالة - جمع حبوب اللقاح من زهرة حديثة التفتح فى نفس الموقع الذى تجرى فيه عملية التلقيح . هذا .. بينما يمكن تجميع وحفظ حبوب لقاح بعض أنواع الفاكهة لعدة أشهر ، أو سنوات ، دون أن تفقد حيويتها . كما يمكن - فى كثير من الأشجار الخشبية - حفظ أفرع صغيرة منها تحتوى على براعم زهرية فى حرارة منخفضة إلى حين الوقت المناسب للتلقيح .

١٠- تسجيل بيانات التلقيح :

تسجل البيانات الخاصة بكل تلقيح على لافتة ورقية label ، تثبت على عنق الزهرة الملقحة . ويوضح على اللافتة أسماء الأصناف أو السلالات المستخدمة فى التلقيح ، مع كتابة الأم أولا ؛ وقد يتطلب الأمر - فى بعض الحالات - توضيح أرقام النباتات المستخدمة فى التلقيح من كل من صنفى الآباء ، كما يفيد تسجيل تاريخ إجراء التلقيح ، والأحرف الأولى لاسم القائم بالعمل .

طرق إجراء التلقيحات

تختلف تفاصيل طريقة إجراء التلقيحات من محصول إلى آخر . وسوف نتناول بالدراسة فى هذا الجزء بعض المحاصيل كأمثلة ، أما تفاصيل طرق التلقيحات فى شتى

النباتات .. فيمكن الاطلاع عليها فى المراجع التالية :

المرجع	المحاصيل التى يتناول المرجع طرق إجراء التلقيحات فيها
U . S . D . A (١٩٣٧)	أنواع محصولية كثيرة ومتنوعة
Hayes وآخرون (١٩٥٥)	محاصيل الحقل
عبد العال (١٩٦٤)	محاصيل الخضر
Darrow (١٩٦٦)	الشليك
Bhandari (١٩٧٩)	محاصيل الحقل خاصة
Poehlman (١٩٧٩)	محاصيل الحقل
Fehr & Hadley (١٩٨٠)	أنواع محصولية كثيرة ومتنوعة
Janic & Moore (١٩٨٣)	محاصيل الفاكهة
Layne (١٩٨٣)	محاصيل الفاكهة
إلياس ومحمد (١٩٨٥)	محاصيل الحقل والخضر
Bassett (١٩٨٦)	محاصيل الخضر

ونبين – فيما يلى – الطرق الشائعة لإجراء التلقيحات فى عدد من محاصيل الحقل والخضر ، والفاكهة ، ونباتات الزينة .

التلقيحات فى بعض محاصيل الحقل

١ – القمح والشعير :

تخصى أزهار الآباء قبل تفتح المتوك ، ويستدل على صلاحيتها للخصى بخروج من ٢ – ٣ من السفا من قمة الغمد . تزال السنيبلات المحمولة على الثلث العلوى لمحور السنبلة بالمقص ، وتلك المحمولة على الثلث السفلى بالملقط ، ويحتفظ فقط بنحو ١٠ – ١٤ سنيبلة وسطية تخصى الزهرة الوحيدة الموجودة بكل سنيبلة فى الشعير ، وزهرتان فقط من تلك التى توجد بكل من سنيبلات القمح ، وتزال بقية الأزهار . يجرى الخصى بعمل شق فى جانب العصيفة بسن الملقط ، ثم سحب المتوك إلى الخارج . تكيس الزهرة بعد ذلك بكيس من الجلاسين مقاس ٧ × ١٥ سم ، ويكون إجراء عملية الخصى فى أى وقت من النهار .

يجرى التلقيح بعد ٢ – ٣ أيام من الخصى ، ويستدل على صلاحية الأزهار للتلقيح من انفتاح الميسم الريشى . تجمع حبوب اللقاح من سنابل سبق تكييسها قبل تفتح أزهارها

تؤخذ المتوك الصفراء الناضجة التى لم تنتثر حبوب لقاحها بعد ، فيما بين العاشرة صباحا والثانية عشرة ظهراً ، وتوضع فى وعاء زجاجى صغير ذى غطاء مع تعريض الوعاء للشمس ؛ حتى تنتثر حبوب اللقاح من المتوك . يؤخذ متك واحد ، ويغمس فى حبوب اللقاح بواسطة ملقط ، ثم يوضع على ميسم الزهرة المخصبة . وبعد الانتهاء من تلقيح جميع أزهار السنبلة بهذه الطريقة .. يعاد تكييسها .

وقد وجد أن تبريد السنابل إلى درجة - ٣°م إلى ٢°م لمدة ١٥-٢٤ ساعة يؤدى إلى قتل نسبة كبيرة من حبوب اللقاح . وتعد تلك طريقة سهلة للخصى ، وهى تفيد عند الرغبة فى الحصول على كمية كبيرة من البذور المهجنة ، ويشترط لنجاحها احتواء سلالة الأب على صفة سائدة واضحة ، لاتوجد فى الأم ؛ ليمكن تميز الهجن عن النباتات التى تنتج من التلقيح الذاتى .

٢- القطن :

تحدث فى القطن نسبة من التلقيح الخلطى الطبيعى ، تصل إلى نحو ١٥٪ . ولتأكيد حدوث التلقيح الذاتى .. تمنع الأزهار من التفتح بسكب عدة نقاط من محلول خلات السيليلوز فى الأسيتون على قمة تويج البرعم الزهرى قبل تفتحه بيوم ، علما بأن الأوراق التويجية تكون ملتفة على بعضها - حينئذ - بارتفاع ٣ - ٤ سم . يتبخر الأسيتون بسرعة ، ويترك وراءه مادة صمغية تلصق الأوراق التويجية معًا ، وتمنع تفتحها . تسقط الأوراق التويجية مع الأنبوبة السدائية بعد المعاملة بنحو ٢ - ٣ أيام ، وهى الفترة التى يحدث خلالها التلقيح الذاتى الطبيعى .

ولإجراء الخصى .. تختار البراعم الزهرية التى يمكن أن تتفتح فى اليوم التالى ، ويعمل شق فى الكأس والتويج بسن الملقط ، مع مراعاة عدم ملامسة المبيض ، ثم تزال الأوراق التويجية مع الأنبوبة السدائية . تغطى الزهرة - بعد ذلك - بكيس ورقى بحجم مناسب ، أو ينكس على قلم الزهرة قطعة صغيرة من ماصة شراب أغلقت إحدى نهايتيها .

يجرى التلقيح - فى صباح اليوم التالى - فيما بين الساعة ٩ - ١٢ ظهراً . تمرر أنبوبة سدائية ، مغطاة بحبوب اللقاح على ميسم الزهرة ، ثم ينكس على القلم قطعة صغيرة من ماصة شراب ، ويضغط عليها إلى أن تصل نهايتها السفلى إلى المبيض ، ثم تغلق نهايتها

العلوية . ويفضل التبكير بإجراء التلقيح فى بداية موسم الإزهار كلما كان ذلك ممكناً .

٣- الكتان :

تتراوح نسبة التلقيح الخلطى الطبيعى فى الكتان من ١ - ٦٪ . تجرى عملية الخصى بعد الظهر على البراعم الزهرية التى يتوقع تفتحها فى اليوم التالى ، وهى التى يبدو فيها التويج على شكل مخروط . ينزع التويج بالملقط وتزال المتوك ، ثم يغطى البرعم بكيس من الجلاسين .

يجرى التلقيح فى صباح اليوم التالى بإمرار متك زهرة الأب على مياسم أزهار الأمهات التى سبق خصيها ، أو بإضافة حبوب اللقاح بفرشاة صغيرة بعد جمعها من نباتات الآباء ، ويعاد بعد ذلك تكييس الأزهار الملقحة .

٤- الـذرة :

تنضج الأعضــاء الذكـرية (النورة الذكـرية) فى الذرة قـبل الأعـضــاء الأنثـوية (النــورة المؤنـثة) ، وتستمر النورة الذكرية للنبات الواحد فى إنتاج حبوب اللقاح لمدة ٤ - ١٤ يوما ، وتحافظ حبوب اللقاح على حيويتها لمدة ٢٤ ساعة بعد إنتاجها . ولإجراء التلقيح الذاتى .. تغطى النورة الأنثوية بكيس ورقى قبل ظهور الحريرة من قمة الكوز بيوم أو يومين ، وتغطى النورة الذكرية بكيس آخر فى اليوم نفسه . وعند ظهور الحريرة .. تقطع قمة الغلاف المحيط بالنورة الأنثوية بمقص حاد ، ثم تعاد تغطيتها . تظهر خيوط الحريرة فى اليوم التالى ، وحينئذ .. تجمع حبوب اللقاح فى نفس الكيس المغلف للنورة المذكرة ، ثم تقطع قمة الكيس الورقى للنورة المؤنثة وتسكب عليها حبوب اللقاح ، ثم تغطى بنفس الكيس الذى توجد به حبوب اللقاح .

ولايختلف التهجين عن التلقيح الذاتى سوى فى نقل حبوب اللقاح من صنف إلى آخر . ويفضل قرط من ١- ٢ سم من أغلفة النورة المؤنثة عند ظهور الحريرة ، وإعادة تغطيتها، ثم إجراء التلقيح فى اليوم التالى ؛ حيث تكون جميع المياسم حديثة ومتماثلة فى الطول .

يفضل إجراء عملية التلقيح بعد الظهر ، لأن انتثار حبوب اللقاح يستمر حتى الساعة الواحدة بعد الظهر . تجمع حبوب اللقاح بثنى النورة المكيسة ، ثم الطرق عليها وعلى الكيس

باليد عدة طرقات ، ثم تنقل حبوب اللقاح بالكيس ، وتسكب على النورة المؤنثة ، وتغطى بنفس الكيس الذى جُمعت فيه حبوب اللقاح .

٥- الأرز :

تتراوح نسبة التلقيح الخلطى الطبيعى فى الأرز من ٥ر٠ - ٠ر٤٪ . وتجرى عملية الخصى على ١٠ - ٢٠ سنيبلة فقط من كل نورة ، وتزال بقية السنيبلات (تحتوى نورة الأرز الدالية على ٥٠ - ٥٠٠ سنيبلة ، تحتوى كل منها على زهرة واحدة) تقطع قمة كل زهرة بالمقص ، لكى تظهر المتوك التى تزال بالملقط مع مراعاة التأكد من أن المتوك المزالة مازالت خضراء اللون ؛ لاحتمال حدوث التلقيح الذاتى فى الأزهار التى تحولت متوكها إلى اللون الأصفر ، يفضل إجراء عملية الخصى فى الصباح الباكر ، وتكيس النورات المخصية بعد ذلك .

ويمكن إجراء عملية الخصى بالماء الساخن ، وتختار لذلك النورات التى ظهر ثلثاها على الأقل من الغمد ، تغمس هذه النورات فى ترموس سعة لتر ، ذى فوهة واسعة ، يمتلئ بالماء على درجة ٤٠ - ٤٤°م ، وتترك النورات على هذا الوضع لمدة ١٠ دقائق . ويمكن الاستعانة بحامل ثلاثى الأرجل لوضع الترموس عليه ، ويلاحظ - عند رفع النورة من الماء الساخن انفتاح بعض الأزهار ، وهى التى تكون مستعدة للتلقيح ، وبقاء البعض الآخر مغلقا . وتزال جميع الأزهار ، التى تبقى مغلقة ، بينما تلقح الأزهار المتفتحة بنقل حبوب لقاح الآباء إلى مياسمها ، وتجرى عملية التلقيح بجمع حبوب اللقاح فيما بين العاشرة صباحا والثانية بعد الظهر ، من الأزهار التى يتوقع تفتحها فى نفس اليوم - وهى التى تعرف بظهور المتوك من قمة أغلفتها الزهرية - وتوضع حبوب اللقاح فى وعاء زجاجى صغير لحين استعمالها . ويتم التلقيح بإدخال متك ناضج فى كل سنيبلة سبق خصيها ، ثم يعاد تغطية النورة (الخش وخضر ١٩٧٧ ، إلياس ومحمد ١٩٨٥) .

التلقيحات فى بعض محاصيل الخضر

١- الفول الرومى :

لإجراء عملية الخصى .. تختار البراعم الزهرية التى يبلغ طولها نحو سنتيمتر واحد ، وهى التى تغلف فيها أوراق الكأس والتويج أعضاء الزهرة الجنسية تماماً . تزال أوراق

الكأس بالملقط ، ثم أوراق التويج ، فالمتوك ، وتترك الأزهار المخصية دون غطاء ، إذا أجرى التلقيح فى البيوت المحمية ، أو تغطى النورة - بعد إزالة بقية الأزهار غير المخصية منها - إذا أجرى التلقيح فى الحقل . ويجرى التلقيح بعد يوم إلى يومين من الخصى ، حينما تظهر على الميسم شعيرات دقيقة . وتنقل حبوب اللقاح من أزهار تفتحت فى نفس يوم التلقيح بواسطة الملقط إلى ميسم الأزهار المخصية .

٢- البامية :

تلتحم أسدية الزهرة لتكون أنبوبة سدائية تحيط بالمتاع ، وتحمل المتوك على امتداد طولها . يجرى الخصى بعد ظهر اليوم السابق لتفتح الأزهار بشق الأنبوبة السدائية بسن الملقط ، ثم إزالتها تماماً من حول المبيض والقلم ، مع الاحتراس ؛ حتى لا يخدش المبيض ، أو القلم ، وتكيِّس الأزهار المخصية ، وتكيَّس معها فى الوقت نفسه البراعم الزهرية لنباتات الآباء . ويجرى التلقيح فى صباح اليوم التالى بنقل حبوب اللقاح من زهرة الأب ، ووضعها على ميسم زهرة الأم ، ثم تكيس الأزهار الملقحة .

٣- الطماطم :

لاتكيس أزهار نباتات الآباء إلا فى حالات نادرة عند توفر الحشرات التى تزور أزهار الطماطم . ولإجراء عملية الخصى . تختار البراعم الزهرية التى يتوقع تفتحها فى اليوم التالى ، وهى التى تكون بتلاتها ملتفة تماما حول بعضها ، وبطول حوالى سنتيمتر واحد . تزال سبلة واحدة من قاعدتها بالملقط ، ثم يدفع سن الملقط برفق خلال التويج والأنبوبة المتكية التى تحيط بالمبيض والقلم ، ثم يزال التويج والطلع كاملين بالملقط فى عملية واحدة ، مع الاحتراس ، حتى لايخدش المبيض . يجرى التلقيح بعد الخصى مباشرة ؛ بجمع حبوب اللقاح من أزهار نباتات الآباء ، ونقلها إلى مياسم الأزهار المخصية . وتجمع حبوب اللقاح بإمرار سن الملقط بين اثنين من المتوك الملتحمة ، ثم فتح الأنبوبة المتكية وتنكيسها - وهى مفتوحة - على ظفر الإبهام ، ثم الطرق عليها برفق لنثر حبوب اللقاح عليه . وتنقل حبوب اللقاح إلى الميسم بإمراره -برفق- على ظفر الإبهام الذى تتجمع عليه حبوب اللقاح .

٤- القرعيات (الخيار والكوسة ، والبطيخ ، والشمام ، والقاوون) :

تكيَّس ، أو تغلق البراعم الزهرية المذكرة لنباتات الآباء بكلبسات بعد ظهر اليوم السابق

لتفتح الأزهار . وبينما لاتحتاج النباتات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن إلى عملية الخصى (حيث يكتفى فيها كذلك بغلق البراعم الزهرية المؤنثة بعد ظهر اليوم السابق لتفتح الأزهار) .. فإن الأزهار الخنثى للنباتات الـ andromonecious (أى التى تحمل أزهاراً مذكرة ، وأزهارا خنثى على نفس النبات) يلزم خصيها . وتجرى عملية الخصى بعد ظهر اليوم السابق لتفتح الأزهار بإزالة أوراق التويج ، والمتوك بالملقط ، ثم تكيّس الأزهار المخصية . وفى صباح اليوم التالى .. يجرى التلقيح بنقل متك زهرة الأب ، وإمراره برفق على ميسم زهرة الأم ، ثم غلق الزهرة الملقحة .

٥- البصل :

تتفتح أزهار النورة الواحدة على مدى أسبوعين ، وتجمع حبوب اللقاح اللازمة للتلقيحات بتكييس النورة فى اليوم الذى تتفتح فيه أولى الأزهار بها ، ويطرق على النورة والكيس - يومياً - بعد الظهر ، للمساعدة على انتثار حبوب اللقاح داخل الكيس.

تجرى التلقيحات فى البصل بزراعة نباتات الأمهات ونباتات الآباء فى خطين متجاورين ، وتكيّس نورات الآباء عند تفتح أول زهرة بها ، أما نورات الأمهات .. فتزال منها الأزهار التى تتفتح بها يوميًا (تحمل النورة الواحدة من ٥٠ - ٢٠٠٠ زهرة) ، أو مرتين يوميًا فى الجو الحار ، وتستمر الحال على هذا النحو إلى أن يصبح النبات فى أوج إزهاره ؛ حيث يخصى أكبر عدد من البراعم الزهرية كبيرة السن ، وتزال بقية الأزهار المتفتحة والبراعم الزهرية التى لم تخص ، توضع النورة ذات الأزهار المخصية - بعد ذلك - داخل قفص من الشاش ، كما تقطع النورة المذكرة ، وتوضع داخل القفص نفسه فى زجاجة بها ماء ، مع وضع ذباب منزلى نظيف معهما لإتمام عملية التلقيح .

التلقيحات فى بعض محاصيل الفاكهة

١- التفاح والكمثرى :

تجرى عملية الخصى بإزالة المتوك من البراعم الزهرية قبل تفتحها بيوم ، أويومين ، ويعد أفضل وقت لذلك عندما تكون البراعم على شكل بالون . تقطع قاعدة السبلات بسن الملقط ، ثم تثنى الأجزاء الزهرية على الجانب ، ويتخلص منها جمعيا فيما عدا المتاع . وتجرى عملية التلقيح بعد الخصى مباشرة ، ويراعى عدم تلقيح أكثر من زهرتين بكل عنقود

زهرى ، مع التخلص من بقية البراعم الزهرية والأزهار المتفتحة . تكيّس النورات الملقحة بعد ذلك مباشرة ، ويحصل على حبوب اللقاح اللازمة للتلقيح بقطف البراعم الزهرية لنباتات الآباء وهى على شكل بالون ، ووضعها فى مكان دافئ جاف ، إلى أن تتفتح المتوك وتنتثر منها حبوب اللقاح ، ويحدث ذلك خلال فترة تتراوح من يوم إلى يومين . ويمكن – كذلك – قطع الأفرع التى تحتوى على البراعم الزهرية غير المتفتحة من نباتات الآباء ، ووضعها فى غرفة ، أو بيت محْمِى (صوبة) ، مع غمر قاعدة الفرع فى وعاء به ماء ، إلى أن تتفتح الأزهار . وتستخدم الأزهار المتفتحة هذه كمصدر لحبوب اللقاح اللازمة للتقليح ، ويجرى التلقيح – عادة – بفرشاة من شعر الجمل . تزال الأكياس من على الأزهار الملقحة عند تغير لون المياسم إلى اللون البنى ، ويمكن حصاد الثمار العاقدة قبل اكتمال نضجها ؛ حتى لاتفقد إذا سقطت مبكراً ، علماً بأن ذلك الإجراء لايؤثر فى حيوية البذور (Magness ١٩٣٧) .

٢– العنب :

تكيس العناقيد الزهرية لنباتات الآباء قبل تفتح البراعم ، لحمايتها من التلوث بحبوب اللقاح الغريبة . تتجمع حبوب اللقاح داخل الكيس ، ويمكن نقلها إلى أزهار نباتات الأمهات مباشرة . تخصى أزهار نباتات الأمهات قبل تفتحها وانتثار حبوب اللقاح منها ، ثم تكيَّس ، وتلقح بعد ذلك بنحو يومين ، ثم تكيس مرة أخرى (Snyder ١٩٣٧)

٣– الخوخ والمشمش ، والبرقوق :

تجمع حبوب اللقاح اللازمة للتلقيحات ؛ بأخذ أفرع تحتوى على براعم زهرية غير متفتحة من نباتات الآباء وتركها فى مكان دافئ نسبياً وجاف ، إلى أن تتفتح الأزهار تجمع متوك الأزهار – بعد ذلك – بإمرار مشط على الخيوط ، وتترك المتوك فى وعاء فى درجة حرارة الغرفة إلى أن تجف ؛ حيث تخرج منها حبوب اللقاح بسهولة حينئذ . وتخزن حبوب اللقاح فى مكان بارد وجاف إلى حين استعمالها .

يسمح تركيب أزهار الفواكه ذات النواة الحجرية بإجراء عملية خصى أزهار نباتات الأمهات بسهولة ، فنجد أن الطلع والمتاع يوجدان داخل البتلات المطوية ، ومع نمو البرعم ، يندفع الكأس إلى أعلى حاملاً التويج الذى يكون على شكل فنجان حول المبيض . هذا .

بينما يستطيل القلم لأعلى من خلال الأسدية ، ويندفع - أحياناً - من خلال البتلات . ويسهل - عند الخصى - قطع فنجان الكأس بالملقط ، ثم قطع التويج ، والطلع بعد ذلك . ومن الطبيعى أن عملية الخصى لاتجرى على الأصناف العقيمة ذاتيًا . تكيّس الأزهار - بعد ذلك - إلى أن يحين موعد تلقيحها .

تلقح الأزهار المخصية بفرشاة من شعر الجمل بها حبوب لقاح الأب ، وتكيّس الأزهار بعد التلقيح لحمايتها من حبوب اللقاح الغريبة ، وحينما يتغير لون المياسم إلى اللون البنى .. يستبدل الكيس الورقى بكيس قماشى ، يثبت فى الفرع لحماية الثمرة النامية ، ولكى يكون سقوط الثمرة فيه فى حالة سقوطها قبل قطفها .

٤- الموالح :

تجمع حبوب اللقاح اللازمة للتلقيحات من نباتات الآباء بتكييسها وهى ما زالت فى طور البرعم ، وتترك إلى حين تفتح الأزهار وانتثار حبوب اللقاح منها ، وقد يستعمل اللقاح بعد جمعه مباشرة ، أو يخزن لحين تفتح أزهار الأمهات ، ويمكن تخزين حبوب اللقاح مدة شهرين بتجفيفها جيداً فوق حامض الكبريتيك المركز ، ثم وضعها فى قنينة زجاجية تحت تفريغ بخفض الضغط الجوى داخلها إلى ٠.٥ مم زئبقاً .

تخصى أزهار نباتات الأمهات بسهولة وهى فى طور البرعم ، ثم تكيس ، وتلقح الأزهار المخصية حيثما تصبح مياسمها مستعدة لاستقبال اللقاح ، ثم تكيس مرة أخرى إلى أن تبدأ الثمرة فى النمو ، ويوصى باستبدال الكيس الورقى بكيس آخر من القماش ، أو الشاش لحماية الثمرة من الضياع فى حالة سقوطها قبل قطفها (Cullinan ١٩٣٧) .

التلقيحات فى بعض نباتات الزينة

١- الورد :

تخصى أزهار نباتات الأمهات وهى ما زالت فى طور البرعم ؛ بإمرار مشرط بحرص - دائريًا - أسفل البتلات إلى أن تسقط جميعها وتظهر الأسدية ؛ حيث تزال جميعها بعناية بالملقط مع الحرص حتى لاتصاب المياسم بضرر . تكيس الأزهار المخصية ، وتترك إلى أن تصبح المياسم لزجة ومستعدة للتلقيح ، ويكون ذلك بعد يومين . أما أزهار الآباء .. فإنها

تكيس - هى الأخرى - وهى فى الطور البرعمى ، لمنع تلوثها بحبوب لقاح غريبة ، ثم تجمع منها حبوب اللقاح بعد تمام تفتحها - فى زجاجة ساعة . يجرى التلقيح بفرشاة ، ثم تكيس الأزهار الملقحة مرة أخرى ، ويستدل على نجاح التلقيحات باستدارة الكأس وانتفاخه .

٢- بسلة الزهور :

تخصى أزهار نباتات الأمهات وهى ما زالت فى طور البرعم ؛ بإمرار إبرة بامتداد موضع اتصال حافتى العلم ، ثم يثنى العلم لأسفل ومعه أحد الجناحين ، فيظهر الزورق . يفتح نحو ٤ مم من قمة الزورق بالملقط ثم يضغط عليه لأسفل ، حتى تظهر الأسدية . تقطع المتوك مع جزء من الخيوط بواسطة ملقط . ويمكن إجراء التلقيح بعد الخصى مباشرة ، ولكن يفضل إجراؤه بعد نحو يوم ، ونصف يوم من الخصى حينما تكون المياسم مستعدة للتلقيح . ويجرى التلقيح بقطع ميسم زهرة حديثة التفتح ، محملا بحبوب اللقاح ، ووضعه على ميسم الزهرة المخصية .

٣- الأراولة :

تنتخب نورة متوسطة الانفراج (النورة رأس head) ، ويقص تويج أزهارها الشعاعية (الخارجية) من أعلى لإظهار الأقلام ، يختار عدد مناسب من الأزهار الشعاعية (وهى أزهار مؤنثة) ، وتزال بقية الأزهار الشعاعية ، وجميع الأزهار القرصية الداخلية (وهى أزهار خنثى) . تكيس النورة بعد ذلك ، وتترك إلى حين استطالة أقلام الأزهار المتبقية فيها ، ويكون ذلك فى ظرف أيام قليلة . ويجرى التلقيح - حينئذ - بفرشاة ، توجد بها حبوب لقاح ، جمعت من نورات متفتحة ، سبق تكييسها وهى فى طور البرعم .

٤- حنك السبع :

تجرى التلقيحات على نورة واحدة أو نورتين بكل نبات . تقصف القمة النامية لهذه النورات وتزال أزهارها الكبيرة ، ويترك بكل منها من ٧- ١٠ براعم زهرية غير متفتحة . تخصى من ٢ - ٣ أزهار من كل نورة يوميًا عندما تبلغ حجما مناسبا للتلقيح ، وذلك بنزع الكأس والطلع - معاً - من أسفل بملقط ، ثم تغطى النورة بكيس من الجلاسين . ويجرى التلقيح بعد ٢ - ٣ أيام من الخصى حينما تكون الأزهار مستعدة للتلقيح ، ويمكن تلقيح الأزهار السفلى بالبذرة ، وخصى الأزهار العليا فى نفس اليوم ، ويتم التلقيح بإمرار متك

زهرة حديثة التفتح على ميسم الزهرة المخصية ثم يعاد تكيسيها (Emsweller وآخرون ١٩٣٧) .

تخزين حبوب اللقاح وحيويتها

يتطلب الوضع - أحياناً - تخزين حبوب اللقاح ؛ إما لغرض حفظ الجيرمبلازم ، وإما لكى يمكن إجراء التهجينات اللازمة بين أصناف لاتزهر فى وقت واحد ، أو بين نباتات نامية فى مناطق جغرافية بعيدة عن بعضها ، وتسلك حبوب اللقاح مسلك البذور فى قدرتها على الاحتفاظ بحيويتها فى أثناء التخزين ، وطبيعة استجابتها لمختلف المؤثرات البيئية .

تقسم النباتات - من حيث قدرة حبوب لقاحها على الاحتفاظ بحيويتها فى أثناء التخزين - إلى ثلاث فئات كما يلى :

١- نباتات تحتفظ حبوب لقاحها بحيوتها فترات طويلة ؛ كما فى العائلتين : الوردية ، والبقولية .

٢- نباتات تحتفظ حبوب لقاحها بحيويتها فترات متوسطة ؛ كما فى العائلتين الزنبقية ، والنرجسية .

٣- نباتات تحتفظ حبوب لقاحها بحيويتها فترات قصيرة ؛ كما فى العائلة النجيلية .

تأثير العوامل البيئية فى حيوية حبوب اللقاح المخزنة

تتأثر حيوية حبوب اللقاح المخزنة بالعوامل البيئية التالية :

١- الرطوبة النسبية :

يؤدى نقص الرطوبة النسبية إلى زيادة فترة احتفاظ حبوب اللقاح المخزنة بحيويتها ، وتنطبق هذه القاعدة حتى حد أدنى معين للرطوبة النسبية ، يختلف باختلاف الأنواع النباتية ، ويتراوح من ٨ - ٢٥٪ . وتتسبب الرطوبة النسبية الأقل من الحد الأدنى المناسب للنوع النباتى إلى فقدان حيوية حبوب اللقاح ، وربما حدث ذلك نتيجة للأكسدة الذاتية للمواد الدهنية التى توجد بها . وتعرض الرطوبة النسبية الأعلى من ٦٠٪ حبوب اللقاح للإصابة بالنموات الفطرية والبكتيرية . ويزداد الضرر الواقع على حبوب اللقاح عند تذبذب الرطوبة النسبية بين الارتفاع والانخفاض عما لو كانت ثابتة . ويجب رفع رطوبة حبوب اللقاح التى

خزنت فى رطوبة منخفضة من ١٠ – ٣٠٪ قبل استعمالها فى التلقحيات بتركها فى رطوبة نسبية تبلغ ٨٠٪ مدة يوم كامل .

٢- درجة الحرارة

تزداد فترة احتفاظ حبوب اللقاح المخزنة بحيويتها ، كلما كانت الحرارة أقرب إلى درجة التجمد . كما أمكن تخزين حبوب اللقاح فى درجة حرارة تراوحت من -١٨٠° م إلى -١٩٠°م دون أن يحدث لها أى ضرر . وخزنت حـبوب لقاح النوعيـن *Pyrus malus* ، و *P. communis* مدة ٣٢٨٧ يوماً فى حرارة تراوحت من – ١٧°م إلى – ٣٧°م دون أن تفقد حيويتها . كذلك أمكن حفظ حبوب اللقاح بالتجفيد freeze drying .

٣- العوامل البيئية الأخرى :

تزداد فترة احتفاظ حبوب اللقاح المخزنة بحيويتها ؛ بخفض تركيز الأكسجين ، وزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى هواء المخزن . إلا أن التعرض للضوء – خاصة الأشعة فوق البنفسجية – يحدث أضراراً لحـبوب اللـقاح المخزنة (عن Johri & Vasil ١٩٦١ ، وHarrington ١٩٧٠ ، و Roberts ١٩٧٥) .

أسباب تدهور حيوية حبوب اللقاح عند التخزين

من الأسباب المحتملة لتدهور حيوية حبوب اللقاح عند التخزين ما يلى :

١- استنفاذ المواد الغذائية التى توجد بحبة اللقاح فى التنفس .

٢- توقف نشاط بعض الإنزيمات .

٣- الجفـاف .

٤- تراكم نواتج أيضية ثانوية .

٥- حدوث تغيرات فى المواد الدهنية بالأغشية الخلوية لحبة اللقاح .

وتبدو حبوب اللقاح المخزنة -أحياناً- كما لو كانت ميتة ، إلا أنها تستعيد حيويتها إذا وضعت فى رطوبة مرتفعة لعدة أيام . وتتطلب حبوب اللقـاح المخزنة تركيزات أعلى من السكريات ؛ لكى تنبت . وإذا كانت نسبة إنباتها ٣٥٪ بعد انتهاء فترة التخزين .. فإنها تنبت بصورة طبيعية فى الحقل .

طرق اختبار حيوية حبوب اللقاح

تتبع الطرق التالية فى اختبار حيوية حبوب اللقاح .

١- استخدام اللقاح فى التلقيحات ، ثم حساب نسبة العقد .

٢- حساب نسبة الإنبات فى البيئات الصناعية .

٣- اتباع طرق الصبغ السريعة التى تعتمد -أساساً- على وجود السيتوبلازم من عدمه ؛ مثل اختبارات الصبغ بالأسيتوكارمن acetocarmine ، وأزرق القطن cotton blue ، وطرق أخرى نذكر منها ما يلى :

أ- اختبار أملاح التترازوليم Tetrazolium Salts :

فعلى سبيل المثال .. استخدم Norton (١٩٦٦) عدداً من أملاح التترازوليم ؛ لاختبار حيوية حبوب لقاح البرقوق ، ووجد أن أكثرها فاعلية هو :

3 (4,5-dimethyl thiazolyl 1-2) 2,5-diphenyl tetrazolium bromide ، الذى يعرف بالرمز MTT . وكان الارتباط عاليًا ، وموجباً (r = ٠,٩٩) بين نسبة الإنبات فى البيئة الصناعية ، ونسبة حبوب اللقاح الملونة فى الاختبار .

ب - اختبار الصبغ بالـ malachite green :

توصل Alexander (١٩٦٩) إلى طريقة للتمييز بين حبوب اللقاح الحية والميتة بوضعها فى محلول يتكون من مركبات ، تضاف إلى بعضها بالترتيب والكميات التالية :

الكمية	المركب
١٠ مل	كحول إيثيلى
١ مل	صبغة malachite green ١٪ فى ٩٥٪ إيثانول .
٥٠ مل	ماء مقطر
٢٥ مل	جلسرين
٥ جم	فينول
٥ جم	كلورال هيدريت chloral hydrate
٥ مل	مركب acid fuchsin ١ ٪ فى الماء .
٠,٥ مل	صبغة orange G ١ ٪ فى الماء .
١-٤ مل	حامض خليك ثلجى

يُرجّ المخلوط جيداً بعد كل إضافة ، ويخزن فى زجاجة ملونة . ويفيد وجود حامض الخليك الثلجى فى عمل حد فاصل واضح بين الجدر الخلوية التى تصبغ باللون الأخضر ، والبروتوبلازم الذى يصبغ باللون الأحمر . وتتوقف كمية الحامض التى يجب إضافتها على سمك جدر حبوب اللقاح التى يراد اختبار حيويتها ؛ فتكون ١ ، و ٢ ، و ٣ مل فى حالة حبوب اللقاح الرقيقة ، والمتوسطة ، والسمكية الجدر ، على التوالى ، وتكون ٤ مل عند اختبار حبوب اللقاح ، وهى مازالت داخل المتوك . ويمكن إسراع عملية الصبغ بتدفئة الشريحة على اللهب بالنسبة لحبوب اللقاح ذات الجدر الرقيقة . أما حبوب اللقاح ذات الجدر السميكة .. فإنها تترك فى المحلول لمدة ٢٤-٤٨ ساعة على درجة حرارة ٥٠°م . تصبغ حبوب اللقاح الحية باللون الأحمر ، بينما تأخذ حبوب اللقاح الميتة لوناً أخضر ... ويمكن اتباع هذه الطريقة فى صبغ حبوب اللقاح ، وهى داخل المتوك إن كانت المتوك صغيرة الحجم .

جـ - اختبار الصبغ بالـ Fluoroscein Diacetate :

تتميز هذه الطريقة عن الطرق السابقة بأنها لاتعتمد على وجود أو غياب السيتوبلازم ؛ لأن وجوده لايعنى بالضرورة أن حبة اللقاح كاملة الخصوبة ، كما يتضح من اختبارات الإنبات فى البيئات الصناعية . وتعتمد هذه الطريقة على مدى سلامة الغشاء البلازمى الخارجى Plasmalemma ؛ حيث تسمح الأغشية غير السليمة بدخول صبغة الـ Fluoroscein Diacetate ؛ لتتحلل إلى Fluoroscein فى السيتوبلازم ، وتتراكم -داخلياً - مما يسمح برؤيتها لقدرتها على الاستشعاع . وقد استخدمت هذه الطريقة بنجاح فى اختبار حيوية أكثر من ٣٠ نوعاً نباتياً ؛ منها البصل ، والطماطم .

تتميز الطريقة ببساطتها ؛ ففى الطماطم .. أذيب ٢ مجم من الصبغة فى ١٠٠ مل أسيتون ، ثم خلطت نقطة من محلول الصبغة مع نقطة من محلول ٠,٥ مولار سكروز على شريحة مجهرية ، ثم أضيفت إليها حبوب اللقاح . ويفضل ترك نقطة محلول الصبغة لمدة دقيقة واحدة ؛ لكى يتبخر الأسيتون قبل إضافة محلول السكروز ، أو معلق حبوب اللقاح فى محلول السكروز (Peterson & Taber ١٩٨٧) .

اختبارات استنبات حبوب اللقاح

تجرى اختبارات استنبات حبوب اللقاح إما فى البيئات الصناعية *in vitro* لتقدير حيويتها ، وإما على مياسم الأزهار *in vivo* لتقدير حيويتها ، وإما لدراسة حالات عدم التوافق .

١- اختبارات الاستنبات فى البيئات الصناعية :

يتأثر إنبات حبوب اللقاح فى البيئات الصناعية بعوامل كثيرة ، نذكر منها ما يلى :

أ- السكريات :

تعد السكريات مواد غذائية ضرورية لإنبات حبوب اللقاح ، ونمو الأنابيب اللقاحية . ويجب أن يكون تركيز السكريات فى البيئة الصناعية مقارباً لتركيزها فى حبة اللقاح ؛ لكى يكون الإنبات جيداً . ويتناسب الضغط الآسموزى للبيئة طردياً مع نسبة إنبات حبوب اللقاح وطول الأنابيب اللقاحية .

ب- البـورون :

يؤثر البورون فى إنبات حبوب اللقاح ونموها أكثر من أى هرمون معروف ، أو فيتامين، أو مركب كيميائى . يشجع البورون امتصاص السكريات ، وتمثيلها ، ويتحد معها ليكوّن sugar-borate complexes ، كما يزيد البورون استهلاك الأكسجين ، ويدخل فى تمثيل المواد البكتينية اللازمة لجدر الأنابيب اللقاحية النامية . يفضل أن يكون تركيز البورون فى البيئات الصناعية ١٥٠ جزءاً فى المليون ، ويستخدم حامض البوريك -غالبا- كمصدر للبورون . ويبدو أن حبوب لقاح معظم الأنواع النباتية تفتقر -طبيعياً- إلى البورون (Vasil ١٩٦٤) .

جـ - المركبات الكيميائية الأخرى :

تساعد بعض الهرمونات ، والفيتامينات ، والكاروتينات ، ومضادات الحيوية ، والأملاح العضوية -فى كثير من الأحيان- على زيادة نسبة إنبات حبوب اللقاح فى البيئات الصناعية . ولحامض الجبرلليك تأثير كبير فى زيادة طول الأنبوبة اللقاحية . ومن المحتمل

أن حبوب اللقاح تحتوى بطبيعتها على كميات كافية من بعض الهرمونات ومنظمات النمو ؛ مما يجعل إضافتها إلى البيئات الصناعية غير مجد .

د- التأثير الحيوى لحبوب اللقاح وأعضاء الزهرة الجنسية :

تؤدى المعاملة بمستخلصات حبوب اللقاح ، أو البويضات ، أو أقلام الأزهار ومياسمها إلى تشجيع إنبات حبوب اللقاح فى البيئات الصناعية . كما يؤدى تجمع حبوب اللقاح مع بعضها إلى زيادة طول الأنابيب اللقاحية . ويبدو أن ذلك مرده إلى إفراز بعض المواد المنشطة للنمو من حبوب اللقاح ذاتها .

هـ- درجة الحرارة :

تنمو حبوب لقاح معظم الأنواع النباتية فى درجة حرارة من ٢٠-٣٠ °م ، ويبلغ الـ Q_{10} حوالى ٢,٠ . تتسبب درجات الحرارة الأعلى من ٣٠ °م فى انفجار الأنابيب اللقاحية واتخاذها أشكالاً غير طبيعية .

و- الـ pH :

تنمو حبوب اللقاح فى مدى واسع من الـ pH ، ويتراوح المجال المناسب من ٥,٥-٦,٥ . ولا يتغير pH البيئات كثيراً بعد نمو الأنابيب اللقاحية فيها لمدة ساعتين .

هذا ويكون منحنى نمو الأنابيب اللقاحية sigmoid (الشكل المعروف باسم حرف S) تماماً ولايتغير بتغير درجة الحرارة ، أو المواد الغذائية . وتظهر بالأنابيب اللقاحية لمغطاة البذور حركة دورانية للسيتوبلازم cytoplasmic streaming تتناسب سرعتها وسرعة نمو الأنابيب اللقاحية . ولمزيد من التفاصيل عن فسيولوجيا حبوب اللقاح بوجه عام .. يراجع John & Vasil (١٩٦١) ، و Linskens (١٩٦٤) .

٢- اختبارات الاستنبات فى مياسم الأزهار :

يستفاد من اختبارات استنبات حبوب اللقاح فى مياسم وأقلام الأزهار فى دراسات نسبة الإنبات ، وعدم التوافق . وقد توصل Martin (١٩٥٩) إلى طريقة سهلة وسريعة لفحص الأزهار الملقحة لمعرفة درجة نمو الأنابيب اللقاحية فى أقلام الأزهار بعد ١-٢ يوم

من التلقيح ، وهى كما يلى . تثبت أقلام ومياسم الأزهار فى مخلوط يتكون من الفورمالين ، وحامض الخليك ، والكحول الإيثيلى ٨٠٪ بنسبة ١ : ١ : ٨ ، على التوالى ، ثم تُليّن فى محلول صودا كاوية قوى (٨ عيارى) ، ثم تصبغ فى محلول ١,٠٪ من صبغة أزرق الأنيلين aniline blue المذابة فى محلول ١,٠ عيارى من بو٣ فو٤ (K_3PO_4) ، تهرس الأقلام والمياسم – بعد ذلك – بواسطة أغطية الشرائح المجهرية ، وتفحص باستعمال مجهر تعتمد إضاءته على الأشعة فوق البنفسجية بطول موجه ٣٥٠ مللى ميكروناً ، ويجرى الفحص فى حجرة مظلمة . يظهر الكالوز calluse الذى يوجد بجدر حبوب اللقاح والأنابيب اللقاحية بلون أخضر زاهٍ مصفر ، بينما تظهر أنسجة القلم بلون أزرق رمادى . وبذا .. يمكن دراسة نسبة الإنبات ، ومدى نمو الأنابيب اللقاحية فى أنسجة القلم .

الفصل العشرون

تقييم وتسجيل الأصناف الجديدة

تتجه بعض دول العالم الآن (مثل الولايات المتحدة الأمريكية ، وبعض دول غرب أوروبا) نحو قصر مهمة مربى النبات العاملين فى المؤسسات الحكومية على تحسين وتنمية الجيرمبلازم Germplasm Enhancement إلى درجة ما – لم تحدد بعد – ثم تسليم هذا الجيرمبلازم المحسن إلى مربى القطاع الخاص ، ممثلاً فى شركات إنتاج البذور ؛ للوصول به إلى مرحلة إنتاج الأصناف الجديدة . يرى Ryder (١٩٨٤) أن لهذا الاتجاه مساوئ عديدة ، لخصها فيما يلى :

١- احتياج مربّى القطاع الخاص إلى سنة أو أكثر ؛ لكى يلموا بالجيرمبلازم الذى يكون جديداً عليهم فى أغلب الحالات ، وهو ما يعنى تأخيراً بنفس القدر فى إنتاج الأصناف الجديدة .

٢- قد يُفْقَدُ الجيرمبلازم الذى يوزع على مربى القطاع الخاص فى مرحلة مبكرة قبل تحسينه بشكل واضح ، مالم تكن به صفات واضحة تهم شركات إنتاج البذور بالدرجة الأولى .

٣- يؤدى توزيع الجيرمبلازم بعد وصوله إلى مرحلة متقدمة من التحسين على عدة شركات بذور فى آن واحد إلى احتمال إنتاج عدة أصناف جديدة متقاربة كثيراً فى

صفاتها ، وتحمل أسماء مختلفة ؛ مما يحدث بلبلة لدى المزارعين .

٤- ليس من العدل حرمان المربى الذى طوّر الجيرمبلازم من إكمال مهمته وإنتاج الأصناف الجديدة بنفسه .

تقييم الأصناف الجديدة

يُجرى عديد من الاختبارات الموسعة على الأصناف المنتجة من برامج التربية ؛ للتأكد من تميزها على الأصناف المنتشرة فى الزراعة ، قبل الإذن بتسجيلها كأصناف جديدة . ويكتفى فى هذه المرحلة بإعطاء هذه الأصناف رموزاً معينة ، وتستمر الحال على هذا الوضع إلى أن يقتنع المربى بأن السلالات الناتجة من برامج التربية يمكن أن تصبح أصنافاً جديدة مميزة . وهو بذلك يتجنب إعطاء اسم لسلالة ، ربما لايكتب لها النجاح كصنف جديد.

تخضع اختبارات التقييم للقواعد الإحصائية ، وتجرى وفقاً للتصميمات الإحصائية المعروفة التى يمكن الرجوع إلى تفاصيلها فى أى من مراجع الإحصاء ؛ مثل : Cochran & Cox (١٩٥٧) ، و Steel & Torrie (١٩٦٠) ، و LeClerg وآخرين (١٩٦٢) ، و Snedecor & Cochran (١٩٦٧) و Little & Hills (١٩٧٨) ، و Bender وآخرين (١٩٨٢) ، و Gomez & Gomez (١٩٨٤) . كما يمكن الرجوع إلى Harding (١٩٨٣) بشأن الأمور التى يجب أخذها فى الحسبان عند تقييم الفاكهة ، على أساس أنها أشجار معمرة لها مشاكلها الخاصة التى تختلف عن مشاكل تقييم النباتات الحولية .

قواعد إعطاء الأسماء للأصناف الجديدة

يتعين عند وضع أسماء للأصناف الجديدة مراعاة القواعد الدولية فى هذا الشأن ، ومن أهمها ما يلى :

١- عدم وضع اختصارات فى الأسماء باستثناء ماجرى العرف عليه ، مثل : VFN التى تعنى المقاومة لأمراض ذبول فيرتسيليم ، والذبول الفيوزارى ، ونيماتودا تعقد الجذور .

٢- عدم وضع أسماء على شكل عناوين .

٤- عدم وضع أسماء بها مبالغات فى وصف مميزات الصنف .

٥- عدم تكرار أسماء أصناف أخرى من نفس المحصول ، حتى لوكانت قديمة ، ولم تعد مستخدمة فى الزراعة .

٦- عدم وضع أسماء يمكن أن تختلط بأسماء أصناف أخرى معروفة من المحصول نفسه ؛ كأن تكون متقاربة كثيراً فى طريقة نطقها ، مع اختلاف الأحرف الهجائية التى تتكون منها .

٧- يجب ألا يشتمل الاسم على كلمة تلقيح cross ، أو هجين hybrid .

٨- يجب ألا يزيد الاسم على ثلاث كلمات ، ويفضل أن يكون من كلمة واحدة أو كلمتين .

٩- يجب ألا يشتمل على كلمات لاتينية .

١٠- يمكن أن يتضمن الاسم اسم شركة بذور . ويجب - فى هذه الحالة - استعمال اسم الصنف كاملاً - دائماً - بما فى ذلك اسم الشركة ، حتى لو سوّق الصنف بواسطة شركة بذور أخرى . وعلى العكس من ذلك ، يجب عدم إضافة اسم الشركة المنتجة للبذور إلى اسم الصنف ، إن لم يكن اسمها جزءاً من الاسم المعتمد للصنف .

١١- عندما يكون الاسم بلغة مشتقة من اللاتينية (كاللغتين الإنجليزية والفرنسية) يكون الحرف الأول بكل كلمة من الكلمات - التى يتكون منها الاسم - حرفاً كبيراً capital ، إلا إذا تعارض ذلك مع قواعد اللغة .

تطبق القواعد السابقة نفسها على الهجن ؛ لأنها أصناف أيضًا . ومن المشاكل التى تبرز - أحياناً - بالنسبة للهجن فى هذا الخصوص أن الهجين الواحد قد ينتج بواسطة شركات بذور مختلفة تحت أسماء مختلفة . ويجب فى هذه الحالة الاحتفاظ باسم واحد للهجين ، يكون هو الاسم الذى أعطته إياه الجهة التى أنتجت سلالات آباء هذا الهجين ؛ فإن لم تكن الجهة المنتجة للآباء قد أعطت الهجين اسماً .. لزم الاحتفاظ بالإسم الذى أعطته أول جهة أنتجت الهجين .

وتختلف طريقة تسمية الأصناف الجديدة من برنامج تربية إلى آخر ، وغالبا ماتتضمن أسماء المدن ، أو المناطق التى أنتجت فيها الأصناف . وقد يطلق على الأصناف أسماء مربين سابقين ، أو علماء بارزين فى المجال الزراعى . وقد تستخدم الأرقام لتحديد هوية

الأصناف الجديدة ، على أن تأخذ الأصناف المختلفة سلسلة من الأرقام ، تأتي بعد اسم الولاية ، أو الشركة ، أو المنظمة المنتجة لهذه الأصناف . وقد تشير الأرقام إلى نسب الصنف في برنامج التربية ، كما قد تشير الرموز إلى مقاومة أمراض معينة ، أو القدرة على تحمل ظروف بيئية خاصة ؛ فمثلاً .. تشير الرموز UC إلى جامعة كاليفورنيا University of California ، و SR إلى المقاومة للملوحة Salt Tolerance ، و N إلى المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور Nematodes ... إلخ .

ويبقى الصنف محتفظاً باسمه ، ولو لم يكتب له النجاح ، ولم تنتشر زراعته . ولايجوز إعطاء نفس الاسم لصنف آخر من نفس المحصول فى أى وقت بعد ذلك .

هذا .. وتُنْشَر – فى الولايات المتحدة الأمريكية – مواصفات أصناف المحاصيل الحقلية الجديدة فى مجلة Crop Science ، ومواصفات المحاصيل البستانية الجديدة فى مجلة HortScience .

قواعد تسجيل الأصناف الجديدة

يسبق تسجيل الأصناف الجديدة والإعلان عنها ضرورة تقييمها على نطاق واسع ، ثم تحديد هويتها بوضع أسماء لها كما سبق بيانه ، كما يتعين تحديد المناطق المناسبة لزراعة الأصناف الجديدة . وبرغم أن هذه الأمور تهم المربى بالدرجة الأولى .. إلا أنه نادراً ماينفرد بها وحده ، وإنما يتقرر ذلك بواسطة لجنة خاصة يطلق عليها اسم Naming and Release Committee يفترض وجودها فى كل هيئة ، أو مؤسسة ذات نشاط فى مجال تربية النبات . ويكون المربى – عادة – عضواً فى هذه اللجنة .

يقدم المربى إلى اللجنة كافة البيانات الخاصة بالصنف الجديد ، التى جمعها خلال فترة التقييم الموسع . ويجب أن يتضمن ذلك بيانات عن المحصول ، وصفات الجودة ، والنضج ، والصفات المورفولوجية ، والمقاومة للأمراض ، والقدرة على تحمل ظروف بيئية معينة ... إلخ ، كما يجب على المربى تزويد اللجنة كذلك بكافة عيوب الصنف الجديد المقترح . وتُحدَّد المناطق التى تنتشر فيها زراعة الأصناف الجديدة من واقع البيانات المقدمة ، ومدى جودته فى المناطق التى اختبر فيها . وتبدأ زراعة الأصناف الجديدة فى مساحات صغيرة نسبياً ، ثم يترك للمزارعين أن يقرروا – بأنفسهم – مدى صلاحية هذه

الأصناف للـــزراعة (Resh ١٩٨١ ، Janick وآخرون ١٩٨٣) .

وفى مصر .. ينظم القانون رقم ١٤٦ لسنة ١٩٦٠ قواعد تسجيل الأصناف الجديدة من الحاصلات الزراعية . ينص القانون على أن تقدم طلبات تسجيل الأصناف الجديدة إلى لجنة مختصة ، تُشكَّل من وكيل وزارة الزراعة المختص ، وسبعة من الموظفين الفنيين بوزارة الزراعة . ويجب أن يشتمل كل طلب على البيانات التالية :

١- اسم الصنف الجديد ، وأصله ونشأته ، والخواص المميزة له .
٢- أنواع التجارب التى أجريت لاختباره ، ومدتها ، ونتائجها .

تفحص اللجنة طلبات التسجيل ، ولها فى سبيل أداء مهمتها تكليف الطالب موافاتها بماتراه لازما من البيانات ، وتقديم الكميات التى تحددها من تقاوى الصنف الجديد ؛ لإجراء التجارب عليها ، ولها أن تعهد إلى الهيئات والمصالح ، والأقسام الفنية المختصة بوازرة الزراعة ؛ باختبار أصناف الحاصلات الزراعية المستحدثة المطلوب تسجيلها . ولايجوز - فى جميع الحالات - أن تقل مدة التجارب عن سنتين .

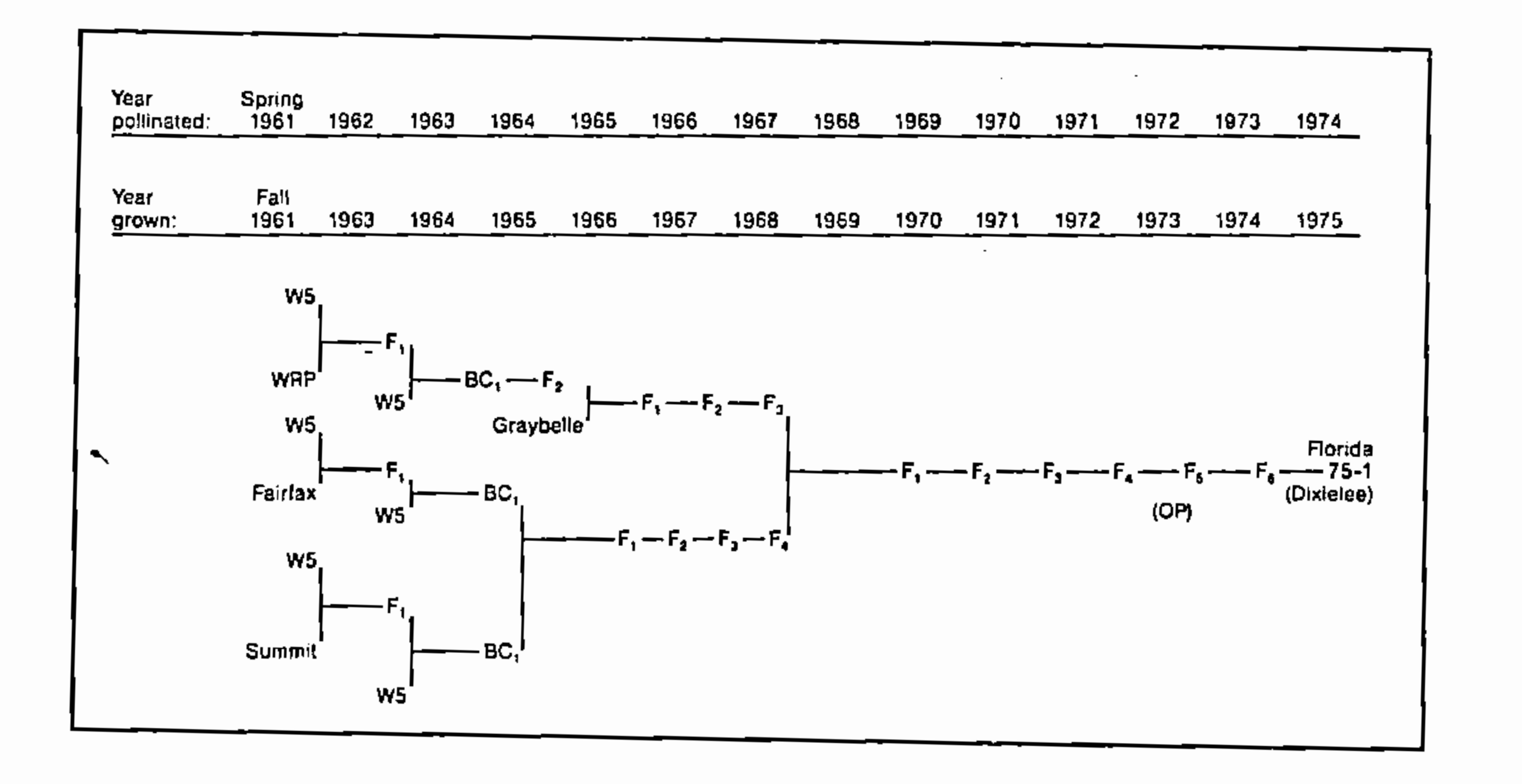
ولايجوز تسجيل الصنف الجديد إلا إذا ثبت من تجربته تفوقه على غيره من الأصناف الأخرى فى إحدى صفاته الزراعية ، أو ميزاته الاقتصادية .

النشر العلمى للأصناف الجديدة

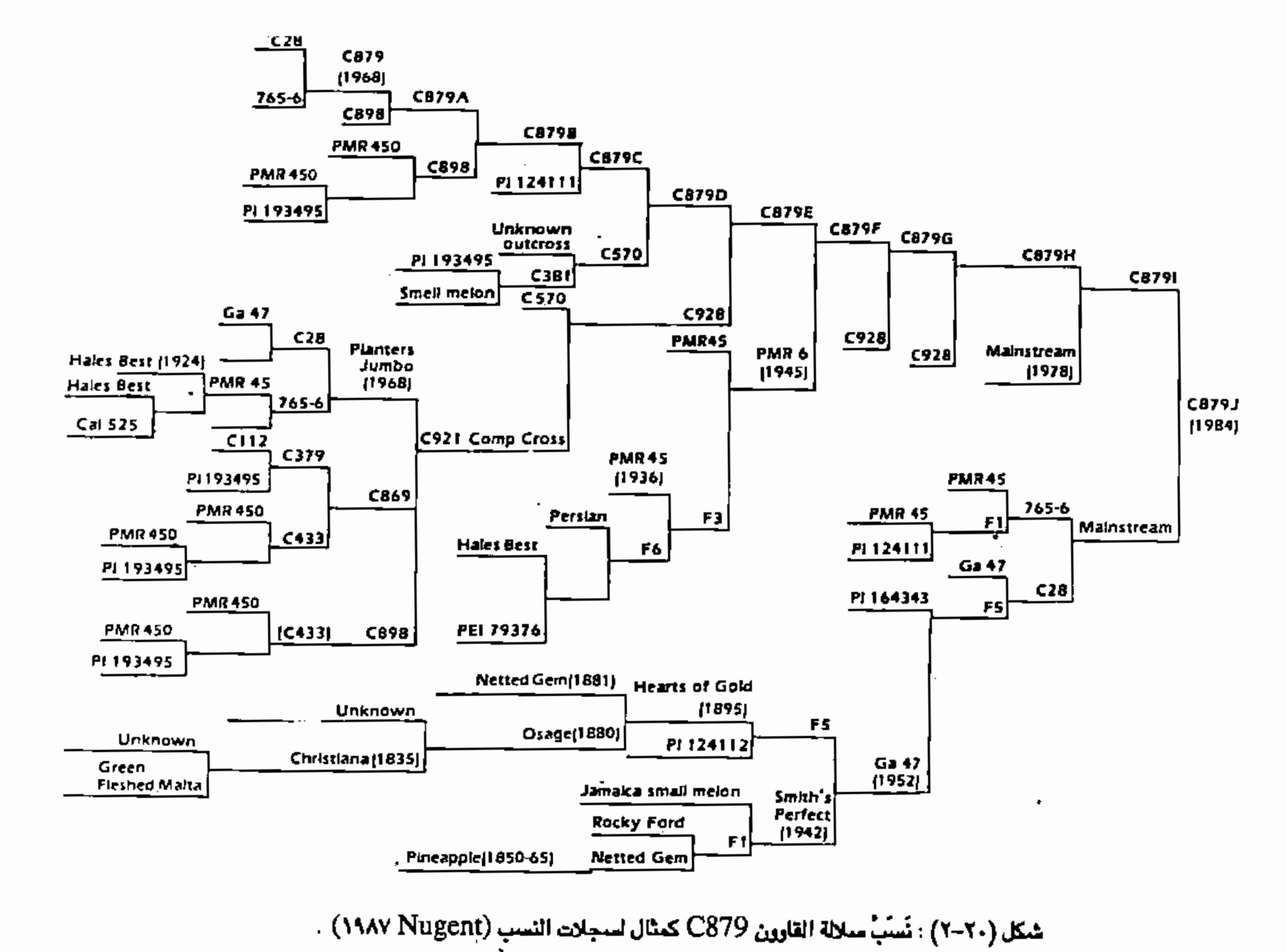
يعد نشر الحقائق العلمية المتجمعة عن الصنف الجديد مكملاً لخطوة تسجيل الصنف فى تحقيق الفائدة المرجوة منه ؛ فهو يحفظ للمربى حقوقه الأدبية فى الصنف الجديد ، ويعرِّف - كل من يهمه الأمر - بأصل الصنف ، ونَسَبِه ، وكيفية إنتاجه ، ومميزاته ، وعيوبه ، ونتائج تجارب التقييم التى أجريت عليه ، ومدتها . ويكون النشر فى المجلات العلمية المتخصصة التى تخضع بحوثها للتحكيم . وتبين أشكال (٢٠-١) ، و (٢٠-٢) ، و(٢٠-٣) نَسَبْ ثلاثة من أصناف الخضر ؛ كأمثلة للكيفية التى تعرض بها نشأة ، وطريقة إنتاج الأصناف الجديدة عند نشرها علمياً .

حفظ حقوق المربى

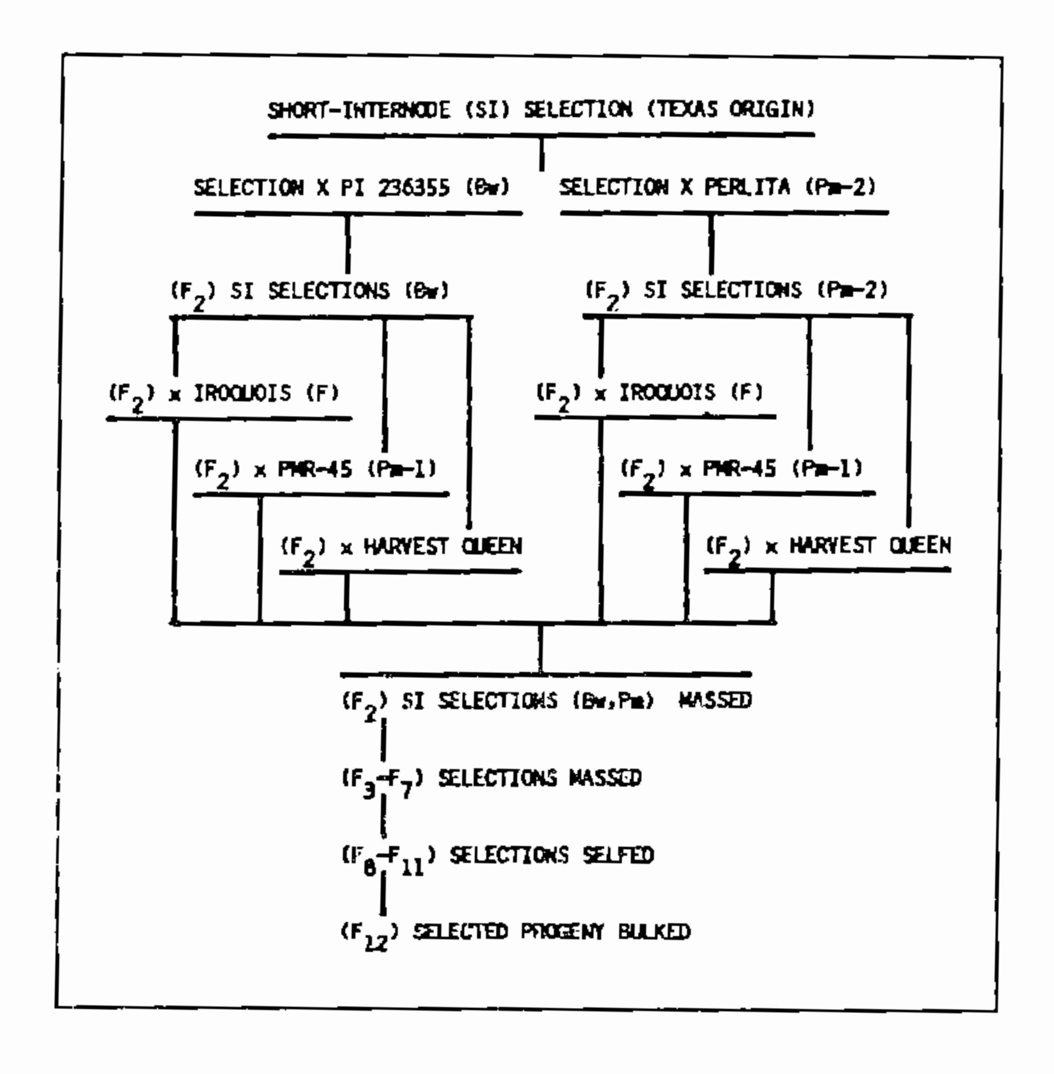
يُمنح مربى النباتات ، والشركات المنتجة للأصناف الجديدة - فى بعض دول العالم -



شكل (٢٠ - ١) : نَسَبْ Pedigree صنف البطيخ دكسى لى Dixelee كمثال لسجلات النسب (Mohr ١٩٨٦) .



شكل (٢٠-٢) : نَسَبُ سلالة القاوون C879 كمثال لسجلات النسب (Nugent ١٩٨٧) .



شكل (٢٠-٣) : نَسَب سلالة القاوون Ky-P7 كمثال لسجلات النسب (Knavel ١٩٨٨) .

براءة تسجيل الأصناف الجديدة بأسمائهم ، مما يحفظ لهم حقوقهم فى إنتاج هذه الأصناف لحسابهم ، ويمكّنهم من الحصول على عائد مادى ، مقابل مابذلوه من وقت ، وجهد ، ومال فى سبيل إنتاج هذه الأصناف كما يسهم ذلك فى إذكاء المنافسة بين شركات البذور ، وهو ماينعكس - إيجابيًا - على الأصناف الجديدة المنتجة . وتعرف القوانين التى تنظم هذه الحقوق ببراءة النباتات Plant Patents . ومن بين الدول التى توجد بها قوانين لحفظ حقوق المربى : الولايات المتحدة الأمريكية ، وبريطانيا ،

وهولندا ، وأستراليا ، ونيوزيلندة .

ونجد فى الولايات المتحدة -على سبيل المثال- أن حقوق المربى ينظمها قانونان ، صدر أحدهما فى عام ١٩٣٠ ، والثانى فى عام ١٩٧٠ . وقد اختص القانون الأول بأصناف المحاصيل الخضرية التكاثر ، بشرط ألا يكون الجزء المستعمل فى التكاثر هو نفسه الجزء المستعمل فى الغذاء ؛ وعليه .. فإن القانون لم يكن ساريًا على الأصناف الجديدة المنتجة من محاصيل ؛ مثل البطاطس ، والبطاطا . كما لم يطبق القانون على النباتات التى وجدت نامية بريًا ، واستئنست فى الزراعة . وقد أعطى القانون للمربى الحق فى إنتاج الصنف لحسابه لمدة ١٧ عاماً . أما القانون الثانى .. فقد عدّل القانون الأول ؛ بحيث أصبح بإمكان المربى الحصول على براءة تسجيل الأصناف الجديدة من كافة المحاصيل الخضرية التكاثر ، والبذرية التكاثر على حد سواء . وقد تطلب القانون أن يتوفر فى الصنف الجديد شرطان ؛ هما :

١- أن يكون مميزاً ومختلفاً بوضوح عن أى صنف آخر فى صفة واحدة على الأقل ، ولايشترط أن تكون هذه الصفة اقتصادية .

٢- أن يكون على درجة معقولة من التجانس ، وأن تكون الاختلافات بين النباتات - فى أية صفة - فى حدود التباين العام للصنف فى هذه الصفة .

وتطبق قواعد براءة التسجيل على آباء الهجن ، وليس على الهجن ذاتها . ويرجع ذلك إلى أن الهجن ليست ثابتة وراثيًا .

ويتعين أن يتقدم المربى بطلب البراءة فى خلال فترة زمنية وجيزة بعد إنتاج الصنف . ويعطى القانون المربى حق إكثار الصنف بنفسه ، أو بمعرفة من يختارهم لمدة ١٨ سنة ، ويحق له خلالها التحكم فى كمية البذور المعروضة للبيع . ويحق للمربى كذلك أن يشترط إن كانت بذور الصنف الجديد تعرض للبيع ، وهى غير معتمدة رسميًا ، أم بعد اعتمادها، علما بأن شرط اعتماد البذور يجعل من السهل ضبط حالات التوزيع غير القانونى لبذور الصنف الجديد .

هذا .. إلا أن أى مزارع يمكنه إنتاج احتياجاته من بذور أى صنف - ولو كان محميًا ببراءة تسجيل - مادام لايزاول نشاطاً تجاريًا بهذه البذور . كما يمكن لأى مربٍ ، أو

شركة بذور أن تستخدم الأصناف المحمية كآباء للهجن ، أو فى برامج التربية العادية ، أو بالطفرات .

وسائل التمييز بين الأصناف والتعرف عليها

لمّا كان تحديد صفات الصنف الجديد ، والتمييز بينه وبين الأصناف القريبة منه يعد شرطاً أساسياً للحصول على براءة تسجيل لهذا الصنف ؛ لذا .. نشط البحث العلمى فى هذا المجال ؛ نظراً لأن الوصف المورفولوجي للأصناف الجديدة لم يعد كافياً ، واستخدمت عدة طرق جديدة ؛ للتمييز بين الأصناف ، نذكر منها مايلى :

١- التقسيم على أسس كيميائية Chemotaxonomy :

من أمثلة الطرق الكيميائية التى استخدمت بنجاح ما يلى :

أ- اختبار الفينول فى القمح .

ب- اختبار الاستشعاع fluorescence فى الزوان ryegrass .

جـ- اختبارات الكروماتوجرافى للمواد الفلافونية flavonoid pattern فى الأغلفة البذرية للفاصوليا ، وفى بادرات الفاصوليا والبطيخ والخيار ، والفول الرومى والبسلة والسبانخ ، وأزهار الفول الرومى . وكانت المحاولات ناجحة فى هذه المحاصيل ، إلا أن الطرز الفلافونية لم تستخدم – منفردة – فى تمييز أصناف هذه المحاصيل (George ١٩٨٥) .

٢- التقسيم على أسس سيرولوجية Serotaxonomy .

٣- التقسيم على أساس انفصال مركبات مميزة للصنف فى جل يسرى به تيار كهربائى (اختبارات الـ Electrophoresis) : ومن الأمثلة الناجحة لتمييز الأصناف بهذه الطريقة ما يلى :

أ- اختبار الـ starch gel electrophoresis فى القمح .

ب- استخدمت هذه الطريقة بنجاح كذلك فى تمييز أصناف الشليك ؛ ففى ولاية كاليفورنيا الأمريكية .. حصلت جميع الأصناف التى أنتجت منذ عام ١٩٦٨ على براءة تسجيل . وتمكن Bringhurst وآخرون(١٩٨١) من استخدام

الـ starch-gel electrophoresis فى التمييز بين عدد كبير من هذه الأصناف ؛ حيث تبين اختلاف ١٤ صنفاً – من أصل ٢٢ صنفاً منها – فى الـ isoenzyme pattern لثلاثة إنزيمات هى : PGI ، و LAP ، و PGM .

جـ- توصل Hussain وآخرون (١٩٨٦) إلى طريقة أمكن بواسطتها التمييز بين أصناف الفاصوليا . وتعتمد هذه الطريقة على فصل أنواع البروتينات التى توجد فى البذور بالـ electrophoresis ؛ حيث كانت الـ Banding patterns ثابتة لكل صنف . وقد استخدم الباحثون جلاً خاصاً هو الـ SDS polyacryl-amide gel .

استخدامات الطرز المتشابهه من الإنزيمات Isozymes

إن الـ isozymes عبارة عن طرز جزيئية molecular forms مختلفة لإنزيم واحد ، يُتحصل عليها من نسيجٍ ما للكائن الحيّ . وتنفصل هذه الطرز عادة عن بعضها إذا تعرضت لتيار كهربائى وهى فى جل ؛ حيث ترحل خلال الجل بدرجات متفاوتة ، ثم يمكن تحديد مواقعها ، ورؤيتها ؛ بوضع الجل فى محلول مناسب للمادة التى يعمل عليها الإنزيم substrate ، ثم صبغ الناتج النهائى للتفاعل . وتؤدى هذه الطريقة إلى تكوين أحزمة bands مستقلة ؛ يتحدد موقعها فى الجل بكل من شحنة الإنزيم المشابه isozyme ، ووزنه الجزيئى . وغالبا مايستعمل فى الاختبار العصير الخلوى الطبيعى الذى ينتج من عصر النسيج النباتى .

ونظراً لأن كل إنزيم يتحكم فى تكوينه جين معين بشكل مباشر ؛ لذا .. فإن هذه الطريقة تعطى الدليل المباشر على وجود الجين ، بدلا من دراسة تأثيره الظاهرى ، أو الفسيولوجى . وهى طريقة سهلة ، وسريعة ، ويمكن استخدامها فى تعرف وجود أى جين فى أطوار النمو المبكرة ، حتى فى البذور -ذاتها- أحياناً . ويعد تمييز الأصناف أحد الاستخدامات المهمة لاختبارات الإنزيمات الشبيهة isozymes .

ومن الاستخدامات المهمة الأخرى للإنزيمات الشبيهة أنها قد تكون شديدة الارتباط بجينات مهمة ، وتنعزل معها دائماً ؛ وبذا .. يمكن التعرف على النباتات الحاملة لهذه الصفات ؛ وذلك بالتعرف على الإنزيمات الشبيهة المرتبطة بها . ومن أمثلة ذلك الارتباط الشديد الذى وجد فى الطماطم بين الموقع الجينى الذى يتحكم فى الإنزيم acid phosphatase (الجين Aps -1) ، وجين المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور Mi .

وقــــد اكتشــفت المــقاومة للنـيماتودا فى إحـدى ســلالات الــــنوع البـرى *Lycopersicon peruvianum* ، وكـــانت المقـــاومة مرتبــطة – دائمـــاً – بحــــزام الـ *acid phosphatase* . أمـا الهجن بين *L.peruvianum* ، و *L . esculentum* فقد احتوت على الأحزمة الأبوية ، وحزام آخر «هجين» يظهر دائماً فى موضع وسطى بينهما . ويمكن التعرف على التراكيب الوراثية الثلاثة (المقاوم الأصيل ، والقابل للإصابة الأصيل ، والهجين) بسهولة باختبار الإنزيمات الشبيهة للعصير الخلوى الذى يمكن الحصول عليه من أى نسـيج نبـاتى (الجـذور ، أو السيـقـان ، أو الأوراق) فى أى مـرحلة للنمـو (Rick ١٩٨٢) . ولمزيد من التفاصيل عن الإنزيمات الشبيهة ، واختباراتها ، واستخداماتها فى مجـال الدراسـات الوراثية وتربية النبات .. يراجــع Jacobs (١٩٧٥ أ ، ١٩٧٥ ب) ، و Zamir وآخرون (١٩٨١) ، و Tanksley & Jones (١٩٨١) .

إكثار تقاوى الأصناف الجديدة

تمر البذور بأربع مراحل أثناء إكثارها قبل أن يقتنيها المزارعون ، وهى كما يلى :

١- بذور المربى Breeder Seed :

إن بذور المربى هى كمية صغيرة من البذور ، يشعر المربى أنها تمثل الصنف الجديد تمثيلاً صادقاً . وتتوقف الكمية المناسبة من بذور المربى على حجم بذور النوع المحصولى ، وتتراوح من كيلو جرام واحد ، أو أقل إلى عدة أجولة ، وتبلغ فى حالة الحبوب الصغيرة – مثلاً – من ٤٠٠ – ٥٠٠ كجم . تسلم هذه البذور إلى هيئة خاصة لإكثارها . وتقع على المربى مسئولية المحافظة على بذور المربى مادام الصنف مستخدماً فى الزراعة .

٢- بذور الأساس Foundation Seed :

تزرع بذور المربى فــى حــقل لايتوقــع أن تــظهر به نباتات مــن نفــس النــوع Volunteer Plants ، ويحافظ عليه خاليًا من الحشائش ، مع المرور فيه عدة مرات خلال الموسم ؛ للتخلص من النباتات غير المطابقة لصفات الصنف . ويطلق على البذور الناتجة اسم بذور الأسـاس . وقد تنتج بذور الأسـاس من بذور أسـاس مماثلة سبق إنتاجـها ، أو تنتج – سنويًا – من بذور المربى . وقد تستعمل بذور الأسـاس فى إنتـاج البذور المعتمدة مباشرة ، أو فى إنتاج البذور المسجلة .

٣- البذور المسجلة Registered Seed :

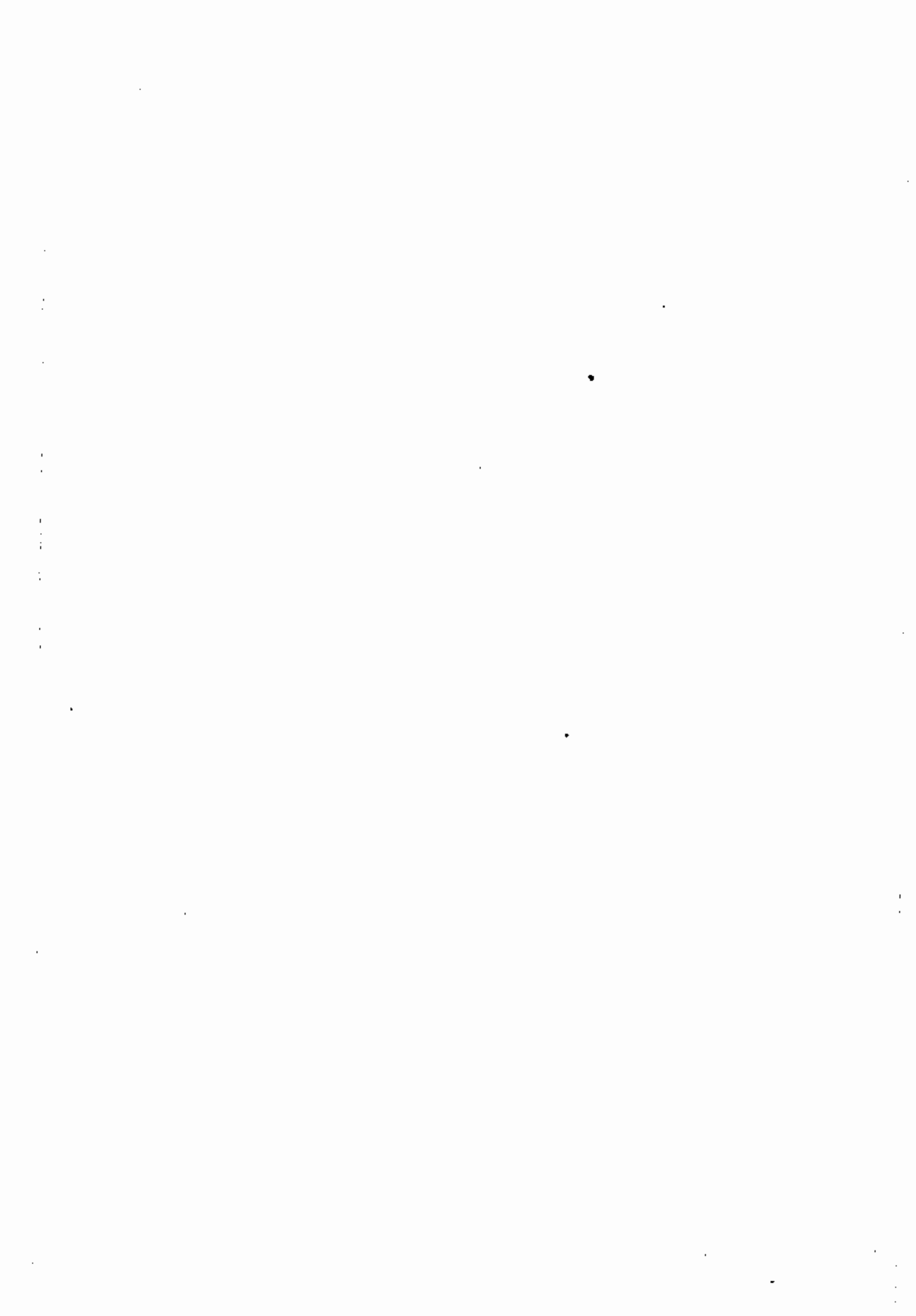
تنتج البذور المسجلة بالإكثار المباشر لبذور الأساس . ويقوم المزارعون -عادة- بعملية الإكثار بعد التعاقد مع شركات البذور . ويلزم إجراء بعض الفحوص والاختبارات الحقلية والمعملية ؛ للتأكد من نقاوة الصنف ، وخلوه من الأمراض الهامة . وقد تنتج البذور المسجلة من بذور مسجلة مماثلة منتجة فى سنوات سابقة ، أو يتم إنتاجها -سنويًا- من بذور الأساس .

٤- البذور المعتمدة Certified Seed :

تنتج البذور المعتمدة بالإكثار المباشر لبذور الأساس ، أو البذور المعتمدة ، ويكون إنتاجها تحت ظروف خاصة من الزراعة والعزل ، وتخضع لاختبارات حقلية ومعملية خاصة ، وللقوانين المنظمة لإنتاج البذور .

هذا .. ويمكن إدخال الهجن كذلك فى برنامج تصديق البذور ؛ بإدخال الآباء للاعتماد ، إلا أن معظم شركات البذور تقوم بهذه المهمة بمعرفتها .

يتبين من خطوات إكثار التقاوى أنه يمر حوالى ٤ سنوات بين إنتاج الصنف الجديد ، وإنتاج كميات من تقاويه ، تكفى للتوزيع على المزارعين .



مصادر الكتاب

إلياس ، زكى ، عبد ، ومحفوظ عبد القادر محمد (١٩٨٥) . أساسيات تربية المحاصيل الحقلية والبستانية . جامعة الموصل - وزارة التعليم العالى والبحث العلمى - الجمهورية العراقية - ٢٧٧ صفحة .

بغدادى ، حسن أحمد (١٩٥٥) . الفاكهة وطرق إنتاجها ، دار مصر للطباعة - القاهرة - ٧٨٩ صفحة .

حسن ، أحمد عبد المنعم (١٩٨٨) ، أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (الصوبات) . الدار العربية للنشر والتوزيع - القاهرة - ٩٢٠ صفحة .

الخشن ، على على ، وفؤاد حسن خضر (١٩٧٥) . قواعد تربية النباتات . دار المعارف - القاهرة - ٤٥٣ صفحة .

طنطاوى ، عبد العظيم ، وعلي حامد محمد (١٩٦٣) . أساسيات علم الوراثة . دار المعارف - القاهرة - ٧٠٨ صفحات .

عبد العال ، أحمد فاروق (١٩٧٧) . أساسيات بساتين الفاكهة ، دار المعارف - القاهرة - ٤٤٨ صفحة .

عبد العال ، زيدان السيد (١٩٦٤) . تربية الخضر . دار المعارف - القاهرة - ٥٥٩ صفحة .

عبد العزيز ، مصطفى ، وأحمد محمد مجاهد ، وأحمد البازيونس ، وعبد الرحمن أمين (١٩٧٦) . النبات العام . مكتبة الأنجلو المصرية - القاهرة - ١١٠٠ صفحة .

عثمان ، إبراهيم (١٩٣٥) . تاريخ فلاحة البساتين بمصر . مطبعة دار الكتب المصرية – القاهرة – ٤٦ صفحة .

المرضى ، مهدى عثمان (١٩٨٦) ، زراعة الأنسجة النباتية ، وإمكانيات استخدامها فى الوطن العربى . الزراعة والتنمية فى الوطن العربى – العددان الخامس والسادس : ٦٢ – ٦٥ .

نجار ، حليم (١٩٨٦) . دور الهندسة الوراثية فى الزراعة ووقاية النبات . مجلة وقاية النبات العربية – المجلد ٤ : ٨٨ – ٩٤ .

Alexander , D . E . 1975 the identification of high-quality protein variants and their use in crop plant improvement . *In* O.H Frankel and J. G Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp. 223 - 230 . Cambridge Univ. Press , Cambridge .

Alexander , M . P . 1969 . Differential staining of aborted and nonaborted pollen . Stain Technol . 44 : 117 - 122 .

Allard , R . W . 1964 . Principles of plant breeding . Wiley , N. Y . 485 p .

Allard , R . W . and A . D Bradshaw . 1964 . Implications of genetic - environmental interactions in applied plant breeding . Crop Sci 4 : 503 - 508 .

American Society for Horticultural Science . 1977 . Cell culture ; tissue culture . Proceedings of the symposia held at Lousiana State University , August 13,1976 and Honolulu, Hawaii , September 13 , 1975 . HortScience 12 : 125-150 .

American Society for Horticultural Science . 1986 . Overcoming barriers to interspecific hybridization of perennial fruit crops . HortScience 21 : 39 - 64 .

American Society for Horticultural Science . 1988 . Genetic Considerations in the collection and maintenance of germplasm. Proceedings of a Symposium held in Davis , California 15 August 1986 . HortScience 23 : 77 - 97 .

Ammati , M., I . J . Thompson and H . E Mckinney . 1986 . Retention of resistance to *Meloidogyne incognita* in *Lycopersicon* genotypes at high soil temperature . J . Nematology 18 : 491 - 495 .

Asian Vegetable Research and Development Center .1987 . AVRDC progress report summaries 1986 Taiwan , Republic of China . 94 p .

Avery , G . S . , Jr . E . B . Joahnson , R . M . Addoms and B . F . Thompson . 1947 . Hormones and horticulture . McGraw - Hill Book Co . , N . Y . 326p .

Ayotte , R . , P . M . Harney and V . S . Machado . 1987 . The transfer, of triazine resistance from *Brassica napus* L . to *B . oleracea* L . I . Production of F_1 hybrids through embryo rescue Euphytica . 36 : 615 - 624 .

Bajaj , Y. P . S . , S . K . Mahajan and K . S . Labana 1986. Interspecific hybridization of *Brassica napus* and *B . juncea* through ovary , ovule and embryo culture . Euphytica 35 : 103 - 109 .

Borker , W . G . and G . R . Johnston . 1980 . The longevity of seeds of the common potato , *Solanum tuberosum* . Amer . Potao J . 57 : 601 - 607 .

Basnitzki , Y . and D . Zohary . 1987 . A seed - planted cultivar of globe artichoke . HortScience 22 : 678 - 679 .

Bass , L . N . 1980 . Seed viability during long - term storage . Hort . Rev 2 : 117 - 141 .

Bassett , M . J . (Ed.) . 1986. Breeding vegetable crops . Avi Pub . Co ., Inc., Westport , Connecticut . 584 p .

Bender , F . E . , L . W . Douglass and A . Kramer . 1982 . Statistical methods for food and agriculture . Avi Pub . Co . , Inc . , Westport , Connecticut . 345p .

Benepal , P . S . and C . V , Hall . 1967 . The genetic basis of Varietal resistance of *Cucurbita pepo* L. to squash bug *Anasa tristis* DeGeer . Proc . Amer . Soc . Hort . Sci . 90 : 301 - 303 .

Bennett , E . 1970 . Tactics of plant exploration . *In* O . H . Frankel and E . Bennett (Eds) " Genetic Resources in Plants : Their Exploration and Conservation " , pp . 157 - 179 . Blackwell Sci. Pub., Oxford .

Bernard , R . L . and E . R . Jaycox , 1969 . A gene for increased natural crossing in soybean . Agron . Abstr, 1969 : p .3 (Abstr) . Cited from Plant Breed . Abstr . 4 / : 6523 . 1971 .

Bhandari , M . M . 1979 . Practicals in plant breeding . Oxford & I B H Pub . Co, New Delhi . 248 p .

Bhojwani , S . S . and M . K . Razdan . 1983 . Plant tissue culture : theory and practice . Elsevier , Amsterdam . 502 p .

Birkett , C . 1979 . Heredity development and evolution . MacMillan Education Lt d . , London . 202 p .

Bliss , F . A . 1981 , Utilization of vegetable germplasm . HortScience 16 : 129 - 132 .

Bliss , F . A . 1984 . The application of new plant biotechnology to crop improvement . HortScience . 19 : 43 - 48 .

Bloksberg, L. N. and M. E . Saltveit, Jr. 1986. Regeneration of plants from axillary buds of harvested and stored heads of field - grown Iceberg lettuce . HortScience 21 : 1201 - 1203.

Bos, I . 1987 . How to develop from three parents a new variety of a self-fertilizing crop ? Euphytica 36 : 455 - 466 .

Bottino , P . J . 1981 . Vegetable crops . *In* B . V . Conger (Ed.) " Cloning Agricultural Plants via *In Vitro* Techniques " , pp. 141 - 164 . C R C . Pr , . Inc ., Boca Raton , Florida .

Bourgeais , P . , G . Guerrier and D . G . Strullu . 1987 . Adaptation of *Lycopersicon esculentum* to Na Cl : a comparative study of cultures of callus or stem tips . Canad . J . Bot . 65 : 1989 - 1997 .

Brewbaker , J . L . 1964 . Agricultural genetics . Prentice - Hall , Inc. , Englewood Cliffs , N . Y . 156 p .

Brezhnev , D . D . 1975 . Plant exploration in the USSR . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp.147 - 150 Camridge Univ Pr., Cambridge .

Briggs , F. N. and P . F . Knowles . 1967 . Introduction to plant breeding . Reinhold Pub . Co ., N . Y . 426P .

Bright , S . , V . Jarrett , R. Nelson, G . Grissen , A. Karp , J . Franklin, P. Norbury, J . Kueh ., S. Rognes and B . Miflin. 1983 . Modification of agronomic traits using in vitro technology. *In* S. H. Mantell and H. Smith (Eds) " Plant Biotechnology " pp . 2 51 - 265 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Bringhurst . R . S . , S . Arulsekar , J . F . Hancock, Jr and V . Voth . 1981 . Electrophoretic characterization of strawberry cultivars . J . Amer . Soc . Hort . Sci . 106 : 684 - 687 .

Brooks , H. J . and D. W. Barton . 1983 . Germplasm maintenance and preservation. *In* J . N . Moore and J . Janick (Eds) "Methods in Fruit Breeding" , pp . 11-20 . Purdue Univ. Pr . , West Lafayette , Indiana .

Burnham , C . R . 1966 . Cytogenetics in plant improvement. *In* K . J . Frey (Ed.) " plant Breeding " pp . 139 - 187 . Iowa State Univ . Pr. , Ames . Iowa .

Burns , G . W . 1983 . (5 th ed .) . The science of genetics : an introduction to heredity . Macmillan Pub. Co., Inc . , N . Y..515 p .

Burton , G. W. 1951 . Quantitative inheritance in pearl millet *Pennisetum glaucum* . Agron . J . 43 : 409 - 417 .

Burton , G . W . 1966 . Plant breeding - prospects for the future . *In* K . J . Frey (Ed) . " Plant Breeding " , pp . 391 - 407 . Iowa State Univ. Pr ., Ames , Iowa .

Burton . G . W . 1981 . Meeting human needs through plant breeding : past progress and prospects for the future . *In* . P . D Hebblethwaite (Ed.) " The Faba Bean (*Vicia faba* L .) : a Basis for Improvement " , pp . 433 - 465 . Butterworths , London .

Butcher . D . N . and D.S Ingram , 1976 . Plant tissue tissue culture . Arnold (Pub.) Linited , London . 68 p .

Cailloux , M . 1984 . Plant tissue culture : rapid propagation, induced mutations , and the potential role of protoplast techniques. *In* . P. B. Vose and S. G. Blixt (Ed .) " Crop Breeding: a Temporary Basis ", pp . 311-346. Pergamon Pr., N . Y.

Carlson , P . S ., B . F . Conrad and J . D . Lutz . 1984 . Sorting throgh the variability . HortScience 19 : 388 - 392 .

Castle , W . E . and S . Wright . 1921 . An improved method of estimating the number of genetic factors in cases of blending inheritance .

Science 54 : 223 .

Chaudhari , H . K . 1971 . (2 nd ed.) . Elementary principles of plant breeding . Oxford & Ibh pub . Co, New Delhi . 327 p .

Chilton , M. - D. 1980. *Agrobacterium* TI plasmids as a tool for genetic engineering in plants . *In* . D . W . Rains and R. C . Valentine (Eds) " Genotypic Engineering of Osmoregulation " , pp 23 - 31 . plenum Pr . , N . Y .

Chin . C. - K . 1985 . Use . of plant tissue culture techniques in plant breeding . *In* C. A. Neyra (Ed.) " Biochemical Basis of Plant Breeding Vol . I . Carbon Metabolism " , pp . 25 - 33 . C R C pr . , Inc ., Boca Raton , Florida .

Chu , C. - c. 1982. Haploids in plant improvement . *In* . I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K .J . Frey (Eds) " Plant Improvement and Somatic Cell Genetics " , pp . 129 - 158 . Academic Pr . , N . Y .

Cooking , E . C . 1975 . Plant protoplasts as genetic systems. *In* . L . Ledoux (Ed.) " Genetic Manipulations with Plant Material " , pp . 311 - 327 . Plenum Pr., N . Y .

Cooking , E . C . 1983 . Genetic transformation through somatic hybridisation . *In* S . H . Mantell and H .Smith (Eds) "plant Biotechnology", pp . 241 - 250 . Cambridge Univ . Pr., Cambridge .

Cooking , E . C . and R . Riley . 1981 . Application of tissue culture and somatic hybridization to plant improvement . *In* K . J . Frey (E d.) . "Plant Breeding II " , pp . 85 -116 . The Iowa State Univ . Pr ., Ames . Iowa .

Cochran , W . G . and G . M . Cox . 1957 . Experimental designs . Wiley , N . Y . 611 p .

Conger , B . V . (Ed.) 1981 . Cloning agricultural plants via *in vitro* techniques . C R C Press , Inc . Raton , Florida . 273p.

Craig . R . 1968 . Inplications of the new genetics in plant breeding . HortScience 3 : 243 - 24 9 .

Creech , J . L . and L . P . Reitz . 1971 Plant germ plasm now and for tomorrow , Adv . Agron . 23 : 1 - 49 .

Crehu , G du : 1968 . Early testing of pollen stigna compatibility relationships in *Brassica oleracea* by fluorescence . Brassica meeting of Eucarpia : Horticltural Section : 4 - 6 Sept . 1968 , Wellsbourne , England . p . 34-36 . cited from Plant Breed . Abstr . 40 : Abstr . 3944 . 1970 .

Cullinam , F . P . 1937. Inprovement of stone fruits . *In* " Yearbook of Agriculture : Better Plants and Animals II ", pp. 665 - 748 . U . S . Dept . Agr . , Wash ., D . C .

Custers , J . B . M . and A . P . M . Den . Nijs . 1986 . Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) , environment , and genotypes in overcoming hybridization barriers between *Cucumis* species . Euphytica 35 : 639 - 647 .

Darrow , G . M . 1966 . The strawberry : history , breeding and physiology . Holt , Rinehart and Winston , N . Y . 447 P .

Darwin , C . 1872 . (6 th ed.) . The origin of species . A 1958 reprint with introduction by Sir J . Huxley . The New American Library of World Literature , Inc . N . Y . 479 p .

Daub , M . E . 1984 . A cell culture approach for the development of disease resistamce : studies on the phytotoxin cercosporin . HortScience 19 : 382 - 387 .

Day, P . R . 1980 . Tissue culture methods in plant breeding. *In* D. S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) " Tissue Culture Methods for Plant Pathologists " , pp . 223 - 231 . Blackwell Sci . Pub ., Oxford .

De Wilde , R . C . 1971 . Practical applications of (2 - chlooroethyl) phosphonic acid in agricultural production . HortScience 6 : 3 64 - 370 .

Devlin , R . M . 1975 . Plant physiology . D . Van Nostrand Co . , N . Y . 600 p .

Dickson , M . H . and D . H . Wallace . 1986 . Cabbage breeding . *In* M . J . Bassett (Ed.) " Breeding Vegetable Crops" , pp . 395 - 432 . Avi Pub . Co . , Ine . , Westport . Connecticut .

Dix , P . J . 1980 . Environmetal stress resistance in plant cell cultures *In* . F . Sala , B. Parisi , R . Cella and O . Cifferri (Eds) " Plant Cell Cultures, Results and Perespectives" , pp . 183 - 186. Elsevier, Amsterdam .

Dixon , R . A . 1985 . Isolation and maintenance of callus and cell suspension cultures . *In* . R . A . Dixon (Ed.) " Plant Cell Culture : a Practical Approach " , pp . 1-2 0 . IRL Pr., Oxford .

Dixon , R . A (Ed.) . 1985. Plant Cell culture : a practical approach . I R L . Pr . , Oxford . 236P.

Dabzhansky, T . , F . J . Ayala , G . L . Stebbins and J. W. Valentine . 1977 . Evalution . W . H . Freeman and Co., San Francisco . 572 p .

Doney , D . L . , J . C . Theuer and R . E . Wyse . 1975 . Absence of

a correlation between mitochondrial complementation and root weight heterosis in sugarbeets . Euphytica 24 : 387 - 392 .

Dowker , B . D . , L . Currah . F . J . Horobin , J . C . Jackson . and G . J . Faulkner . 1985 . Seed production of an F_1 hybrid onion in polyethylene tunnels . J . Hort . Sci . 60 : 251-256 .

Drake . J . W . 1969 Mutagenic mechanisms . Ann. Rev . Genet . 3 : 247 - 268 .

Duke . J . 1982 . Plant germplasm resources for breeding of crops adapted to marginal environments . *In* .M . N . Christiansen and C . F . Lewis (Eds) " Breedimg Plants for Less Favorable Environments " , pp . 391 - 433 . Wiley , N . Y .

Duncan , D . R . and J . Widholm . 1986 . Cell selection for crop improvement . Plant Breed . Rev . 4 : 153 - 173 .

Dunwell , J . M 1985 . Haploid cell cultures . *In* R . A . Dixon (Ed.) "Plant Cell Culture : a Practical Approach", pp . 21 - 36 .IRL Pr .,Oxford.

Duvick , D . N . 1966. Influence of morphology and sterility on breeding methodology . *In* K . J . Frey (Ed.) " Plant Breeding" ,pp . 85 - 138. Iowa State Univ . Pr ., Ames . Iowa .

Earle , E . D and V.E . Gracen . 1981 The role of protoplasts and cell cultures in plant disease research . *In* R. C .Staples and G.H . Toenniessen (Eds) " Plant Disease Contral : Resistance and Susceptibility " , pp . 285 - 297 . Wiley , N . Y .

Edmond , J . B ., T. L . Senn , F . S Andrews and R . G . Halfacre . 1975 . (4 th ed .) . Fundamentals. of horticlture . McGraw - Hill Book

Co ., N . Y . 560p .

、Edwards , A. W . F . 1977 . Fundamentals of mathematical genetics . Cambridge Univ . Pr., Cambridge 119 p .

Egisti , O . J . and P . Dustin , Jr . 1955 . Colchicine in agricultre , medicine , biology and chemistry . Iowa State College Pr ., Ames . Iowa . 470p .

Ehrlich, P. R., R . W. Holm and D . R . Parnell . 1974 . The process of evolution . McGraw - Hill Kogakusha , Ltd . , Tokyo. 378p .

Eisa, H. M . and D . H . wallace . 1969 . Morpholgical and anatomical aspects of petaloidy in the carrot . J . Amer . Soc . Hort . Sci . 94 : 545 - 548 .

Elliott , F . C . 1958 . Plant breeding and cytogenetics . McGraw , N . Y . 395 P .

Ellison , J . H . 1986 . Asparagus breeding . *In* M.J . Bassett (Ed.) " Breeding Vegetable Crops " , pp . 521 - 569 . Avi Pub. Co ., Inc., West-port , Connecticut .

Emery , G . C . and H . M . Munger . 1970a . Effects of inherited differences in growth habit on fruit size and soluble solids in tomato . J . Amer . Soc . Hort . Sci. 95 : 410 -412 .

Emery , G . C . and H . M . Munger . 1970b. Effects of inherited differences in growth habit on pattern of harvest in tomato . J . Amer . Soc . Hort . Sci . 95 : 407 - 410 .

Emsweller, S. L ., P . Brierley , D . V. Lumsden and F . L. Mulford . 1937. Improvement of flowers by breeding. *In* "Yearbook of Agriculture :

Better Plants and Animals " , pp . 890 - 998 . U . S . Dept . Agr ., wash ., D . C .

Esen , A. , R. W . Scora and R.K. Soost . 1975 . A simple and rapid screening procedure for identification of zygotic *Citrus* seedlings among crosses of certain taxa . J . Amer . Soc . Hort. Sci . 100 : 558 - 561 .

Estilai , A . , H . H . Naqvi and J . G . Waines . 1988 . Developing guayule as a domestic rubber crop . Calif . Agr. 42 (5) : 29 - 30 .

Evans, D. A., W. R . Sharp and C . E . Flick . 1981 . Plant regeneration from cell cultrues . Hort . Rev . 3 : 2 14-314 .

Falconer, D. S. 1981 . (2nd ed.). Introduction to quantitative genetics . Longman , N . Y . 340 p .

Fangmeier , D. D ., D.D. Rubis, B.B. Taylor and K.E. Foster . 1984 . Guayule for rubber production in Arizona . Univ . Ariz . , College of Agr . , Agr . Exp . Sta., Tech . Bul . No. 252 .14p .

Fassuliotis , G . and B.V. Nelson . 1988 . Interspecific hybrids of *Cucumis metuliferus* x *C.anguria* obtained through embryo culture and somatic embryogensis . Euphytica 37 : 53 - 60 .

Fehr , W . R . 1987 . Principles of cultivar development : Vol . 1. Theory and technique . Macmillan . Pub Co., N.Y. 536p.

Fehr , W . R . and H . H. Hadley . (Eds) . 1980 . Hybridization of crop plants . Amer . Soc . Agron . Madison , Wisc .

Flavell , R . B . 1982 . Recognition and modification of crop plant genotypes using techniques of molecular biology . *In* . I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K . J . Frey (Eds) " Plant Improvement and Somatic

Cell Genetics " , pp . 277 - 291 . Academic Pr., N . Y .

Fobes , J . F . 1987 . Progress in tomato biotechnology . Acta Hort . 200 : 91 - 95 .

Foldo , N . E . 1987 . Genetic resources : their preservation and utilization . *In* G.J. Jellis and D. E . Richardson (Eds) " The Production of New Potato Varieties : Technological Advances " , pp . 10 - 27 . Cambridge Univ . Pr., Cambridge .

Foster , J . A . 1988 . Regulatory actions to exclude pests during the international exchange of plant germplasm . HortScience 23 : 50 - 66 .

Frankel , O . H . and E. Bennett (Eds) 1970 . Genetic resources in plants : their exploration and conservation . Blackwell Sci . Pub . Oxford . 554 p .

Frankel , O . H . and J . G . Hawkes . (Eds) . 1975 Crop genetic resources for today and tomorrow . Cambridge Univ . Pr., Cambridge . 492p .

Frankel , R . and E . Galun . 1977 Pollination mehanisms , reproduction and plant breeding . Springer - Verlag , Berlin . 281 p .

Frey, K . J . 1972 . Self - and Cross-incompatibility systems in plants . Egyt . J . Genet . Cytol . 1 : 122-139 .

Frey , K . J . and T . Horner . 1957 . Heritability in standard units . Agron . J . 49 : 59 - 62 .

Fryxall . P . A. 1957 . Mode of reproduction of higher plants. Bot . Rev . 23 : 135 - 233 .

Galun , E. 1982 . Somatic cell fusion inducing cytoplasmic exchange : a new biological system for cytoplasmic genetics in higher plants . *In* . I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K . J Frey (Eds) " Plant Improvement and Somatic Cell Genetics " , pp . 205 - 219 . Academic Pr ., N . Y .

Gamble. E. E .1962.Gene effects in corn (*Zea mays* L .) I . Separation and relative importance of gene effects for yield. Canad . J . Plant Sci. 42 : 339 - 348 .

Gardner , E . J . and D . P . Sunstead . 1984 . Principles of genetics . John Wiley & Sons , N. Y . 580 p .

Gaynor , J . J . and R . Kaur -Shawhney . 1985 . Production of novel crops by somatic hybridization . *In* C.A . Neyra (Ed.) "Biochemical Basis of Plant Breeding. Vol . 1 Carbon . Metabolism" pp . 15 - 24 CRC Pr . , Inc . , Boca Raton , Florida .

George . R . A . T . 1985 . Vegetable seed production . Longman , London . 318 p .

George , R. A . T . (Ed.) 1986 . Technical guideline on seed potato micropropagation and multiplicaion . Food and Agriculture Organization of the United Nations , Rome . 55p .

Gomez , K . A . and A. A. Gomez . 1984 . Statistical procedures for agricultural rcsearch . John Wiley & Sons, N . Y . 680p .

Gonzales , R. A . and J.M . Widholm . 1985 . Selection of Plant cells for desirable characteristcs : inhibitor resistance . *In* R . A . Dixon (Ed.) "Plant Cell Culture : a Practical Approach" , pp . 67 - 68 . IRL Pr ., Oxford .

Greenleaf , W . H . 1986 . Pepper breeding . *In* M . J . Bassett (Ed.) " Breeding Vegetable Crops " , pp . 67 - 134 . Avi Pub. Co ., Inc ., Westport , Connecticut .

Griesbach , R . J . 1984 . An introduction to somatic cell genetics . HortScience 19 : 367 - 371 .

Griffing , B. 1956 . Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems . Aust . J . Biol. Sci . 9 : 463 -493 .

Gritton . E . T . 1986 . Pea breeding . *In* M.J.Bassett (Ed.) "Breeding Vegetable Crops " , PP . 283 - 319 Avi Pub .Co., Inc . Westport , Connecticut .

Grosch , D . S . 1965 . Biological effects of radiations . Blaisdell Pub. Co., N . Y . 293 p .

Haglund . W . A . and W . C . Anderson . 1987 . Effect of single plant sclection in commercial pea cultivars on bloom dates and on green pea yield for processing . HortScience 22 : 483 - 485 .

Hal , J . G .van and W . Verhoeven . 1968 . Identification of S - alleles in Brussels sprouts . Brassica meeting of Eucarpia . Horticultural Section : 4 - 6 Sept . 1968 , Wellesbourne , England . pp . 32 - 33 . Cited from Plant Breed . Abstr . 40 : Abstr . 3943 . 1970 .

Hanke, D . E . 1980 . The preparation , nainpulation and culture of plant protoplasts . *In* D . S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) " Tissue Culture Methods for Plant Pathologists" , pp. 27 - 31 . Blackwell Sci . Pub ., Ixford .

Henson , W . D . and H . F . Robinson . (Eds) 1963 . Statistical

genetics and plant breeding . Nat . Acad . Sci ., Wash ., D . C . 623p .

Harberd , D . J . 1969 . A simple effective embryo culture technique for *Brassica* . Euphytica 18 : 425 - 429 .

Harding , P . H . 1983 . Testing and cultivar evaluation . *In* J.N. Moore and J . Janick (Eds) "Methods in Fruit Breeding" , pp . 371 - 382 . Purdue Univ . Pr ., West Lafayette , Indiana .

Harlan , J . R . 1966 . Plant introduction and biosystematics *In* K . J . Frey (Ed.) " Plant Breeding " , pp . 55 - 83 . Iowa State Univ . Pr ., Ames , Iowa .

Harlan . J . R . 1975 . Seed crops . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp . 111 - 115 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge.

Harrington , J . F . 1970 . Seed and pollen storage for conservation of plant genc resourees . *in* O . H . Frankel and E . Bennett (Eds) "Genetic Resources in Plants" , pp . 501 - 521. Blackwell Sci . Pub . Oxford .

Hartmann , H. T. and D. E. Kester .1983 .(4th ed.). Plant propagtion : principles and practices . Prentice / Hall International , Inc., Englewood Cliffs , New Jersey . 727 p .

Hassan , A. A., D. H. Wallace and R . E . wilkinson . 1971 . Genetics and heritability of resistance to *Fusarium soloni* f . *phaseoli* in beans. J . Amer . Soc . Hort . Sci . 96 : 623 - 627

Hawkes , J . G. 1975 . Vegetatively propageted crops . *In* O. H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp . 117 - 121 . Cambridge Univ , Pr ., Cambridge .

Hawkes , J . G . 1983 . The diversity of crop plants . Harvard Univ . Pr ., Cambridge Massachusetts . 184 p .

Hayes , H . K . , F . R . Immer and D . C . Smith . 1955 . Methods of plant breeding . McGraw , N . Y . 551 p .

Helgeson , J . P . 1980 . Plant tissue and cell suspension culture . *In* D . S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) " Tissue Culture Methods for Plant Pathologists " , pp . 19-25. Blackwell Sci . Pub ., Oxford .

Henshaw , G . G . and J . F . O'hara . 1983 . In Vitro approches to the conservation and utilisation of global genetic resources . *In* S . H . Mantell and H . Smith (Eds) " Plant Biotechnology " , pp . 219 - 238 . Cambridge Univ . Pr . , Cambridge .

Henshaw , G . G ., J . F . O'hara and R . J . Westcott . 1980. Tissue culture methods for the storage and utilization of potato germplasm . *In* . D . S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) "Tissue Culture Methods for Plant Pathlogists " , pp . 71-76. Blackwell Sci . Pub. , Oxford .

Hermsen , J . G . Th . 1987 . Efficient utilization of wild and primitive species in potato breeding . *In* . G . J . Jellis and D . E. Richardson (Eds) " The Production of New Potato Varaities : Technological Advances " , pp . 172 - 185 . Cambridge Univ . Pr., Cambridge .

Herskowitz , I . H . 1965 . Genetics . Little . Brown & Co ., Boston . 554 p .

Hewitt , W . B . and L . Chiarappa . 1977 . Plant health and quarantine in international transfers of genetic resources . C R C Press , Inc., Cleaveland , Ohio , 346p .

Hull . R . 1983 . The current status of plant viruses as potential DNA / RNA vector systems . *In* S . H . Mantell and H . Smith (Eds) " Plant Biotechnology " pp . 299 - 312 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Hussain . A , H . Ramirez , W . Bushuk and W . Roca . 1986 . Field bean (*Phaseolus vulgaris* L .) cultivar identification by electrophoregrams of cotyledon storage proteins . Euphytica 35 : 729 - 732 .

Hussey , G. 1980 . In vitro propagation *In* D . S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) " Tissue Culture Methods for Plant Pathologists " , pp . 51 - 91 . Blackwell Sci . Pub ., Oxford .

Hussey , G . 1983 . In vitro propagation of horticultural and agricultral crops . *In* S . H.Mantell and H . Smith (Eds) "Plant Biotechnology " , pp . 111 - 138 . Canbridge Univ . Pr., Cambridge .

Hutchinson , J . (Ed.) 1974 . Evolutoinary studies in world Crops Cambridge Univ. Pr., Cambridge , England .

Hyland , H. L. 1975 . Recent plant exploration in the U . S . A. *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp . 139 - 146 . Cambridge Univ. Pr., Cambridge .

Imanishi , S . and L . Chen . 1989 . Hybridzation between the tomato cultivars and wild species *Lycopersicon peruvianum* by means of ovule culture . Tomato Genetics Cooperative Report No . 39 : 17 - 18 .

Ingram . D . S . and Helgeson , J . P . (Eds) . 1980 . Tissue culture methods for plant pathologists . Blackwell Scientific Publications , Oxford . 272 p .

International Atomic Energy Agency , Vienna . 1968 . Mutations in plant breeding . 311 p .

International Atomic Energy Agency , Vienna . 1973 . Induced mutations in vegetatively propagated plants . 222 p .

Jacobs , M . 1975a . Isozymes and a strategy for their utilization in plant genetics . I . Isozymes : genetic and epigenetic control . *In* L . Ledoux (Ed.) " Genetic Manipulations with Plant Material " , pp . 365 - 378 . Plenum pr., N . Y .

Jacobs , M. 1975b . Isozymes and a strategy for their utilization in plant genetics . *In* L . Ledoux (Ed.) " Genetic Manipulations with Plant Material " , pp . 379 . 389 . Plenum Pr . N . Y.

Jan , C . - C ., C. O . Qualset and J . Dovark . 1982 . Wheat - barley hybrids . Calif . Agr . 36 (8) : 23 - 24 .

Janick , J. and J . Moore . (Eds) . 1975 . Advances in fruit breeding . Purdue Univ . Pr ., West Lafayette , Indiana 623 p .

Janick , J ., R . E . Bagwill and J . R . Nesbitt . 1983 . Cultivar . reclease and protection . *In* J . N . Moore and J . Janick (Eds) "Methods in Fruit Breeding " , pp . 383 - 398 . Purdue Univ . Pr ., West Lafayette , Indiana .

Jensen . C . J . 1981 . Uses of Cell and tissue culture techniques in plant breeding and genetics . *In* . K . O . Rachie and J. M . Lyman (Eds) "Genetic Engineering for crop Improvement" , pp . 87 - 104 . The Rockefeller Foundation .

Johanson , A . G . 1971 . Factors affecting the degree of self-

incombiatility in inbred lines of brussels sprouts . Euphytica 20 : 561 - 573 .

Johri , B . M . and I . K . Vasil . 1961 . Physiology of pollen. Bot. Rev . 27 : 325 - 381 .

Johri , B . M., P . S . Srivastava and A . P . Raste . 1980 . Endosperm culture . *In* I . K . Vasil (Ed.)" Prespectives in Plant Cell and Tissue Culture " , pp 157 - 182 . Academic Pr., N . Y .

Jones , R . W . 1968 . Hybridization of apricot x almond . Proc . Amer . Soc . Hort . Sci . 92 : 29 - 33 .

Justice , O . L . and L . N . Bass . 1979 . Principles and practices of seed storage . Castle House Pub . Ltd., London . 289 p .

Kado , C. I. 1982 . Crossing natural barriers to genetic manipulations . Calif . Agr . 36 (8) : 14 - 15 .

Kahn , R . P . 1970 . International plant quarantine . *In* . O . H . Frankel and E . Bennett (Eds) " Genetic Resources in Plants : Their Exploration and Conservation " , pp-403 - 411 . Blackwell Sci pub ., Oxford .

Knavel . D . E . 1988 . Ky - P7 short internode muskmelon. HortScience 23 : 224 .

Knight , R . L . , J . H . Parker and E . Keep . 1972 . Abstract Bibliography of fruit breeding and genetics : *Rubus* and *Ribes* : 1956 - 1969 . Commanwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops , East Malling . Tech . Communiction No . 32 . 449 p .

Knott , D . R . and J . Dovrak . 1976 . Alien germplasn as a source of resistance to disesse . Ann . Rev . Phytopath . 14 : 211 - 235 .

Krull . C . F . and N . E Borlaug . 1970 . The utilization of colletions in plant breeding and production . *In* O . H . Frankel and E. Bennett (Eds) " Genetic Resources in Plants " , pp. 427- 439 .

Blackwell Sci . Pub. , Oxford .

Kwon , S . H . and J . H . Torrie . 1964 . Heritability and interrelationships amony traits of two soybean populations . Crop Sci : 4 : 196 - 198 .

Longhans , R.W., R . K . Horst and E . D Earle . 1977 . Disease - free plantds via tissue culture propagation . HortScience 12 : 149 - 150 .

Lapins . K . O . 1983 . Mutation breeding . *In* J. N . Moore and J . Janick (Eds) " Methods in Fruit Breeding " , pp. 74-99 . Purdue Univ . Pr., West Lafayette , Indiana .

Larter , E . N . 1979 . Triticale . *In* N . W . Simmonds (Ed.) "Evalution of Crop Plants" , pp. 117-120 . Longman . London.

Layne , R . E . C . 1983 . Hybridization . *In* J . N . Moore and J . Janick (Eds) " Methods in Fruit Breeding " , pp . 48-65 . Purdue Univ Pr., West Lafayette . Indiana .

LeClerg , E . L , W . H . Leonard and A . G . Clark . 1962 . Field plot technique . Burgess Pub . Co., Minneapolis . Minn . 373p.

Ledoux,L.(Ed.) 1975 . Genetic manipulations with plant material . Plenum Pr . , N . Y . 601 p .

Leon , J . (Ed.) 1974 . Handbook of plant introduction in tropical crops . Food and Agr . Org. of the U . N . , Rome.140p .

Leopold , A . C . and P . E . Kriedmann . 1975 . (2nd ed .). Plant growth and development . McGraw - Hill Book Co., N . Y . 545 p .

Leppik , E . E . 1970 . Gene centers of plants as sources of disease resistance . Ann . Rev . Phytopath . 8 : 323 - 344 .

Li , C . C . 1955 . Population genetics . The Univ . of Chicago Pr., Chicago . 366 p .

Lindhout , P . and C. Purimahua . 1988 . Use of *L.peruvianum* LA 1708 and LA 2172 as bridge between *L . esculentum* and *L.peruvianum* . Tomato Genetics Cooperative Report 38:29.

Linskens , H . F . (Ed.) . 1964 . Pollen physiology and fertilization . North - Holland Pub . Co . Amsterdam . 257 p .

Little , T . M. and F . J . Hills . 1978 . Agricultural experimentation . John Wiley & Sons, N . Y . 350p .

Lobo , M . and O . Marulanda . 1989 . Crossibility of LA 1708 and interspecific hybrids as genetic bridge between *L.peruvianum* and *L. esculentum* . Tomato Genetics . Cooperative Report 39:23-24 .

Lyons , M . E . , M . H . Dickson and J . E . Hunter. 1987 . Recurrent selection for resistance to white mold in *Phaseolus* species . J . Amer . Soc . Hort . Sci . 112:149 - 152 .

Magness , J . R . 1937 . Progress in apple improvement . *In* " Yearbook of Agriculture : Better Plants and Animals II " , pp. 575 - 614 . U . S . Dept . Agr ., Wash., D . C .

Maliga , P ., L . Menczel , V . Sidorov , L . Marton , A . Csepl, P . Medgyesy , T . M . Dung ., G . Lazar and F . Nagy . 1982 . Cell culture

mutants and their uses . *In* I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K.J. Frey (Eds)" Plant Inprovement and Somatic Cell Genetics " , pp . 221 - 237 . Academic Press , N . Y.

Mantell , S . H . and H . Smith . (Eds) . 1983 . Plant biotechnology . Cambridge Univ . Pr . Cambridge . 334 p .

Martin , F . W . 1959 . Staining and observing pollen tubes in the style by means of fluorescence . Stain Technol . 34 : 125 - 127.

Mather , K . 1949 . Biometrical genetics . Dover Pub., Inc., London . 158 p .

Mather , K . and J . L . Jinks 1971 . Biometrical genetics . Chapman and Hall Ltd , London . 382 p .

Mather, K . and J . L. Jinks 1977. Introduction to bionetrical genetics . Chapman and Hall , London . 231 p .

McArdle , R . N . and J . C . Bouwkamp . 1980 . The use of gelatin capsules in controlled pollinations . Euphytica 29 : 819 - 820 .

McDaniel , R . G . 1981 . Plant genetic engineering : Possibilites for organelle transfer . *In* K . O . Rachie and J . M . Lyman (Eds) " Genetic Engineering for crop Improvement " , pp 185 - 205 - The Rockefeller Foundation .

Merrell . D . J . 1975 . An introduction to genetics . W . W . Norton & Co., Inc ., N . Y . 822 p .

Mohr , H . C . 1986 . Watermelon breeding *In* M . J . Bassett (Ed) "Breeding Vegetable Crops" , pp. 37-66 . Avi Pub. Co., Inc ., Westport , Connecticut .

Monteiro , A . A ., W . H . Gabelman and P. H. Williams . 1988 . Use of sodium chloride solution to overcome self - incompatibility in *Brassica campestris* . HortScience 23 : 876 - 877 .

Moore , J . N . 1988 . Horticultural science in a changing world : Presidential Address . HortSeience 23 : 799-803 .

Moore , J . N . and J . Janick . (Ed.) 1983. Methods in fruit breeding . Purdue Univ . Pr., West Lafayette , Indiana . 464 p .

Morel . G . 1972 The impact of plant tissue culture on plant breeding . *In* F.G.H. Lupton , G . Jenkins and R. Johnson (EdS) " The Way Ahead in Plant Breeding " , pp . 185-194. The Plant Breeding Institute , Cambridge .

Morel , G . 1975 . Meristem culture techniques for the long term storage of cultivated plants . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) : "Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp . 327 - 332 . Cambridge Univ Pr ., Cambridge .

Moseman , A . H . 1966 . International needs in Plant breeding research . *In* K . J . Frey (Ed) " Plant Breeding " , pp . 409 - 420 . Iowa State Univ . Pr,. Ames . Iowa .

Murashige , T . 1974 . Plant propagation through tissue cultures. Ann . Rev. Plant Physiol. 25: 135 - 166 .

Murashige . T . 1977 . Current Status of plant cell and organ cultures . HortScience 12:127-130 .

Myers , J .R . and E . T . Gritton . 1988 . Genetic male sterility in the pea (*Pisum sativum* L .) : I . Inheritance , allelism and linkage .

Euphytica 38 : 165 - 174 .

Ng, T. J . 1988. Fabric Plant covers as an aid in muskmelon breeding . Hortscience 23 : 913 .

Nickell , L . G . 1982 . Plant growth regulators : agricultural uses . Springer Verlag, N . Y . 173p .

Nitsch , C . 1975 . Single cell culture of an haploid cell : The microspore . *In* L . Ledoux (Ed) " Genetic Manipulatious with Plant Material " , pp . 297 - 310 . Plenum Pr ., N . Y .

North , C . 1979 . Plant breeding and genetics in horticulture. Macmillan Pr . Ltd ., London . 150p .

Norton . J . D . 1966 . Testing of plum pollen viability with tetrazolium salts . Proc . Amer . Soc . Hort . Sci . 89 : 132 - 134.

Nugent , P. E. 1987 . C 879 - J_1 and- J_2 virescent mutant muskmelon breeding lines . HortScience 22 : 333- 335 .

Nygren, A . 1954 . Apomixis in angiospems . II . Bot . Rev . 20 : 577-649 .

Ochoa, C . 1975 . Potato collecting exprditions in Chile , Bolivia and Peru , and The genetic erosion of indigenous cultivars . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (EdS) " Crop Genetie Resources for Today and Tomorrow " , pp . 167 - 173 . Cambridge Univ . Pr., Cambridge .

Panopoulos , N . J . (Ed) . 1981 . Genetic engineering in plant sciences. Praeger Pub ., N . Y . 271 p .

Paul , J . 1970 (4 th ed .) . Cell and tissue culture . Churchill

Livingstone , London . 430 p .

Pearson , O . H . 1981 . Nature and mechanisms of cytoplasmic male sterility in plants : a review . HortScience 16 : 482 - 487 .

Peloquin , S . J . 1981 . Chromosmal and cytoplasmic manipulations . *In* K . J . Frey (Ed.) " Plant Breeding II " , pp . 117- 150 . The Iowa State Univ . Pr., Ames .

Peterson , C . E. 1975 . Plant introductions in the improvement of vegctable cultivars . HortScience 10 : 575 - 579 .

Peterson , R . H . and H . G . Taber . 1987 . Technique for vital staining of tomato pollen with fluoroscein diacetate . HortScience 22 : 953 .

Pike , L . M . 1986 . Onion breeding . *In* M . J . Bassett (Ed.) " Breeding Vegetable Crops " , pp . 357 - 394 . Avi Pub. Co., Icn., Westport , Connecticut .

Poehlman , J . M . 1979 (2nd ed.) . Breeding field crops . Avi Pub . Co ., Inc ., Westport , Conn . 483p .

Postgate , J . 1975 . The Plysiology and genetics of nitrogen fixation . *In* . L . Ledoux (Ed.) " Genetic Manipulations with Plant Material " , pp 123-134 . Plenum Pr . N . Y .

Power . J . B . and J . V . chapman . 1985 . Isolation , culture and genetic maniplation of plant protoplasts . *In* . R . A Dixon (Ed) " Plant Cell Culture : a Practical Approach " , pp 37-66 . I RL . Pr. , Oxford .

Powers , L . and C . B . Lyon . 1941 . Inheritance studies on duration of developmental stages in crosses within the genus *Lycopersicon* . J . Agr . Res . 63:129-148.

Powers , L., F. Locke and J . C . Garrett . 1950. Partitioning method of genetic analysis applied to quantitetive characters of tomato cross . U . S . Dept . Agr . Tech . Bul. 998 .

Purseglove , J . W . 1972 . Tropical crops : monocotyledons. The English Language Book Society ,. London . 607 p.

Purseglove . J . W . 1974 . Tropical crops : dicotyledons . The English Language Book Society , London . 719 p .

Rachie , K . O . and J . M . Lyman . (Eds) . 1981 . Genetic engineering for crop improvement . The Rockeffeller Foundation . 254 p .

Raghavan , V . 1980 . Embryo culture . *In* I. K . Vasil (Ed .) "Prespectives in plant Cell and Tissue Culture " , pp. 209-240. Academic Pr ., N . Y .

Reed . B . M . and H . B . Lagerstedt . 1987 . Freeze preservation of apical meristems of *Rubus* in liquid nitrogen . HortScience 22 : 302 - 303.

Reinert, J . and M . M . Yeoman ,. 1982 . Plant cell and tissue culture : a laboratory manual . Springer - Verlag , Berlin . 83 p .

Rick , C . M . 1970 . Genetics and breeding cooperatives for horticultural crops . HortScience 5 : 142-144 .

Rick , C . M . 1979 . Evalution of interspecific barriers in *Lycopersicon* . *In* A.C. Zeven and A . M . Van Harten (Eds) "Broodening the genetic Base of Crops" pp . 283-286. Centre for Agr . Pub . & . Doc., Wageningen .

Rick . C . M . 1980 . Potential improvement of tomatoes by controlled introgression of genes from wild species . *In* A . C . Zeven and A . M .

Van Harten (Eds) " Broodening. The Genetic Base of Crops", pp. 167-173 Centre for Agr. Pub . & Doc., Wageningen.

Rick , C .M. 1982 . Isozymes in plant breeding . Calif . Agr . 36 (8) : 28 .

Rick , C . M . 1987 . Seedling traits of primary trisomics . Tomato Genetics Cooperative Repot 37 : 60-61.

Riggs , T . J . 1988 . Breeding F_1 hybrid varieties of vegetables . J . Hort . Sci . 63: 369-382.

Roberts , E . H . 1975 . Problems of long - term storage of seed and pollen for genetic resources conservation . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resourees for Today and Tomorrow " , pp . 269-295 . Cambridge Univ . Pr., Cambridge .

Robinson , R . W , H . M . Munger , T . W . Whitaker and G . W . Bohn . 1976. Genes of the Cucurbitaceae . HortScience 11 : 554-568.

Roggen , H . P . J . R . and A . J . Van Dijk . 1972 . Breaking incompatibility of *Brassica olerocea* L . by steel-brush pollination . Euphytica 21:424-425 .

Roggen , H . P . J . R . , A . J . Van Dijk and C . Dorsman . 1972 . 'Electric aided' pollination : a method of breaking incompatibity in *Brassica olercea* L . Euphytica 21:181-184 .

Roos , E . E . 1988 . Genetic changes in a collection over time . HortScience 23 : 86 - 90 .

Rost T . L ., M . G . Barbour , R .M Thornton , T . E Weier and C . R . Stocking 1984 . Botany .John Wiley & Sons , N. Y. 242 p .

Rowe , P . 1981. Breeding an ' intractable' crop : bananas . *In* K . O . Rachie and J . M . Lyman (Eds) " Genetic Engineering for Crop Improvement " , pp ., 66-83. The Rockefeller Foundation .

Ryder , E . J . 1979 . Leafy salad vegetables . The Avi Pub . Co ., Inc ., Westport , Conn. 266p .

Ryder , E . J . 1984 . The art and since of plant breeding in the modern world of reseaech management . HortScience 19:808-811 .

Sakai , A . and M . Noshiro. 1975 . Some factors contributing to the survival of crop seeds cooled to the temperature of liquid nitrogen . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) "Crop Genetic Resourees for Today and Tomorrow " , pp . 317-326. Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Sala , F ., B . Parisi , R . Cella and O . Ciferri . 1980 . Plant cell cultures : results and perespectives. Elsevier, Amsterdam . 433p .

Salisbury , F . B . 1982 . Photoperiodism . Hort . Rev . 4 : 66-105 .

Savin , F ., V . Decomble , M . Le Couviour and J. Hollard . 1988 . The x-ray detection of haploid embryos arisen in muskmelon (*Cucumis melo* L .) seeds , and resulting from a parthenogenetic development induced by irradiated pollen . Cucurbit Genetics Cooperative Report 11 : 39-42.

Schell , J . et al . 1982 . Plant cell transformations and genetic engineering . *In* . I . k . Vasil , W . R . Scowcroft and K . J . Frey . (Eds) "Plant Improvemeent and somatic Cell Genetics" . Academic Pr., N . Y .

Schieder , O . 1982 . Somatic hybridization : a new methed for plant improvement . *In* I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K . J . Frey (Eds)

" Plant Improvement and Somatic Cell Genetics" , pp 239-253 . Academic Pr., N . Y .

Schieder , O . and I . K . Vasil . 1980 . Protoplast fusion and somatic hybridization . *In* . I . K . Vasil (Ed.) " Perespective in Plant Cell and Tissue Culture " , pp . 21-46 Academic Pr.,N. Y.

Schroder , J ., H . de Greve , J . P . Hernalsteens . J . Leemans , M. Van Montague , L . Aotten , G . Schroder . L. Willmitzer and S . Schell . 1983 . Ti Plasmid - mediated gene transfer to higher plant cells . *In* . S . H . Mantell and H . Smith (Eds) " Plant Biotechnology " , pp . 313-326 Cambridge Univ . Pr., Cambridge

Science and Education Administration - Agriculturat Research, U . S . Department of Agriculture . 1980 . Nursery production of fruit plants through tissue culture : applications and feasibility. 119 p .

Scowcroft , W . R . 1982 . Somatoclonal variation : a new option for plant improvement . *In* . I . K . Vasil , W . R . Scowcroft and K . J . Frey (Eds) " Plant Improvement and Somatic Cell Genetics " , pp . 159-179 . Academic Pr., N . Y .

Sagaravatti , E . and J . Beaney-Longhi . 1982 . World list of seed sources . Food and Agriculture Organization of the United Nations , Rome . 175 p .

Sharvelle , E . G . 1979 . Plant disease control . Avi Pub . Co., Inc ., Westport , Conneeticut . 331 p .

Shepherd . R. J ., S . D . Daubert and R . C . Gardner . 1982. DNA plant viruses. Calif Agr . 36(8) : 16.

Sheppard , R . A . 1973 . Practical genetics . Blackwell Sci . Pub .,

Oxford . 337 p .

Shull , A.F. 1951 (2nd ed.) . Evolution . McGraw-Hill Book Co., Inc ., N . Y . 322 p .

Simmonds. N. W. 1979 . Principles of crop improvement . Longman , London . 408 p .

Singh . R . K . and B . D . Chaudhary . 1979. Biometrical methods in quantitaive genetic analysis . Kalyani Pub ., New Delhi. 304 p .

Sinha . S . K . and R . Khanna . 1975 . Physiological , biochemical and genetic basis of heterosis . Adv . Agron . 27 : 123-174 .

Sink , K . C . 1984 . Protoplast fusion for plant improvement . HortScience 19 : 33 - 37 .

Sink, K.C. Jr., and V. Padmanabhan. 1977. Anther and pollen culture to produce haploids: progress and application for the plant breeder. HortScience 12:143-148.

Simmonds, N.W. (Ed.). 1976. Evalution of crop plants. Longnan, London. 339p.

Skrdla, W.H. 1972. New crops - food for the future ? HortScience 7:156-159.

Skrdla, W.H. 1975. The U.S. plant introduction system. HortScience 10 : 570 - 574.

Smith , D . C . 1966 . Plant breeding - development and success . *In* K . J . Frey (Ed) " Plant Breeding " , pp . 3-54. Iowa State Univ . Pr ., Ames , Iowa .

Snedecor , G . W . 1956 . Statistical methods. The Iowa State College Pr ., Ames . Iowa .534 p .

Snedecor , G . W . and W . G . Cochran . 1967 (6th ed.) . Statistical methods . Oxford & IBH Pub . Co ., New Delhi . 593 p .

Sneep , J . and A . J . T . Hendriksen (Eds) and O. Holbek (Coed.) . 1979 . Plant breeding prespectives . Centre for Agr . Pub . and Doc ., Wageningen . 435 p .

Snyder , E . 1937 . Grape development and improvement . *In* "Yearbook of Agriculture : Better Plants and Animals II ", pp. 631 - 664 . U . S . Dep t . Agr ., Wash ., D . C .

Splittstoesser , W . E . 1979 . Vegetable growing handbook . AVI Pub . Co ., Inc., Westport , Connecticut . 298 p .

Sprague , G . F . 1966 . Quantitative genetics in Plant improvement . *In* . K . G . Frey (Ed.) " Plant Breeding ", pp . 315 - 354 . Iowa State Univ. Pr., Ames . Iowa .

Sprague , G . F . 1967 . Plant breeding . Ann . Rev. Genet . 1 : 269-294 .

Staba , E . J . 1980 . Plant tissue culture as a source of biochemicals . CRC Press , Inc ., Boca Raton, Flarida . 285 p .

Stakman , E . C ., R . Bradfield and P . C . Mangelsdorf . 1967. Campaigns against hunger . The Belknap Press of Harvard University Press , Cambridge . Mass . 328p

Stanwood , P . C . and E . E . Roos . 1979 . Seed storage of several

horticultural species in liquid nitrogen (- 1960 C) . HortScience 14:624-630 .

Stavark , S . T . and D . W . Rains , 1984 . The development of tolerance to mineral stress . HortScience 19:377- 384 .

Steel , R . G . D . and J . H . Torrie . 1960 . Principles and procedures of statistics . McGraw , N .Y. 481 p .

Street , H . E . 1975 . Plant cell cultures : present and projected applications for studies in genetics . *In* L . Ledoux (Ed .) " Genetic Manipulations with Plant Material " , pp . 231 -244.Plenum Pr., N . Y .

Sunderland , N . 1980 . Guidlines in the culture of pollen *in vitro* . *In* D . S . Ingran and J . P . Helgeson (Eds) " Tissue Culture Methods for Plant Patholsgists" , pp . 33-40 . Blackwell Scientific Pub ., Oxford .

Swamy , B . G . L . and K . V . krishnamurthy . 1980 . From flower to fruit . Tata McGraw - Hill Pub . Co . Ltd , New Delhi . 162 p .

Swanson , C . P ., T.Merz and W . J . Young . 1967 . Cytogenetics . Prentice - Hall . Englewood Cliffs , N . J . 194P .

Sykes , J .T . 1975 . Tree crops . *In* O . H . Frankel and J . G . Hawkes (Eds) " Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp . 123-137 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Tang , F . A . and Z . K . Punja . 1989 . Isolation and Culture of protoplasts of *Cucumis sativus* and *Cucumis metuliferus* and methods for their fusion . Cucurbit genetics Cooperative Report 12:29-34 .

Tanksley . S . D . and R . A . Jones . 1981 . Effects of O_2 stress on tomato alcohol dehydrogenase activity : description of a second ADH coding gene . Biochem . Genetics 19:398-409 .

The Rockefeller Foundation 1966 . Progress Report : Toward the conquest of hunger 1965-1966 , N . Y . 231 p .

Thomas . B . R . and D . Pratt . 1982 . Enbryo callus hybrids . Calif . Agr . 36(8) : 27 .

Thompson . A . E . 1972 . Introduction and establishment of improved crop cultivars in developing countries . HortScience 7: 162-164 .

Thorpe . T . A . (Ed.) . 1981 . Plant tissue culture : methods and application in agriculture . Academic Pr . , N . Y . 379 p .

Tisserat , B . 1985 . Embryogensis , organogensis and plant regeneration . *In* R . A . Dixon (Ed.) " Plant Cell Culture : a Practical Approach " , pp 79-105 . IRL Pr., Oxford .

Tisserat , B . , E . B . Esan and T . Murashige . 1979 . Somatic embryogensis in angioperms . Hort . Rev . : 1-78 .

Toenniessen , G . H . 1984. Review of the world food situation and the role of salt -tolerant plants . *In* R. C Staples and G . H . Toenniessen (Eds) " Salinity Tolerance in Plants : Strategies for Crop Improvement ", pp . 399 - 413 . Wiley - Interscience, N. Y .

Towill , L . E . 1988 . Genetic considerations for germplasm preservation of clonal materials . HortScience 23 : 91-95.

Turk . K . L . 1964 Can a hungry world be fed ? Cornell Univ . Agr . Dev . Bul . 8 .23P .

Uhlinger , R . D . 1982 . wide crosses in herbaceous perennials . HortScience 17 : 570 - 574 .

United States Department of Agriculture . 1937 . Yearbook of Agriculture : better plants and animals II. 1497 p .

University of Arizona , Tucson . 1980 . Report on research at the University of Arizona . 1979-1980,39 p.

University of California , Division of Agricultural Sciences . 1982.Genetic engineering of plants . Calif . Agr . 36(no . 8).35 p .

Valentine , R . C . 1982 . "Nif" and "hup" genes . Calif . Agr . 36(8) : 10 .

Van Der Meer , Q . P . and J . L . Van Bennekom . 1973 . Gibberellic acid as a gametocide for the common onion (*Allium cepa* L .) . Euphytica 22 : 239-243.

Vasil , I . K . 1964. Effect of boron on pollen germination and pollen tube growth . *In* H . F . Linskens (Ed .) " Pollen Physiology and Fertilization " pp. 107-119 .North Holland Pub. Co ., Amsterdam .

Vasil , I . K . 1976 . The progress , Problems , and prospects of plant protoplast research . Adv . Agron . 28:119-160.

Vasil , I . K . (Ed.) 1980 . Prespective in plant cell and tissue culture . Academic Pr., N . Y . 257 p .

Vasil . I . K and V . Vasil . 1980 . Isolation and culture of protoplasts . *In* I . K . Vasil (Ed.) " Perspective in Plant Cell and Tissue Culture " pp . 1-19 Academic Pr., N . Y .

Vasil . I . K . W . R . Scowcroft and K . J . Frey . (Eds) . 1982 . Plant improvement and somatic cell genetics . Academic Pr., N . Y . 300 p .

Vaughn . K . C . 1983 . Chimeras and Variegation : Problems in propagation . HortScience 18:845 - 848 .

Vavilov , N . I . 1951. The origin , variation , immunity and breeding of cultivated plants . Translated by K . S . Chester . The Ronald Press Co., N . Y . 364 p .

Villiers , T . A . 1975 . Genetic maintenance of seeds in imbibed storage . *In* O . H . Frankel and J . G . Howkes (Eds) "Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow " , pp .297-315 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Vince - Prue , D . 1975 . Photoperiodism in plants . McGraw - Hill Book Co ., London . 444 p .

Visser , T . and J . J . Verhaegh . 1978 . Inheritance and selection of some fruit characters of apple . II . The relation between leaf and fruit pH as a basis for pre-selection . Euphytica 27:761-765 .

Wallace , B . and A . M . Srb . 1964 . Adaptation . Prentice - Hall , Enlewood Cliffs , N . J . 115 p .

Wallace , D . H . and M . E . Nasrallah . 1968 . Pollination and Serological procedures for isolating incompatibility genotypes in the crucifers . Cornell Univ . , Agr . Exp . Sta ., N . Y. State College of Agr., Ithaca . Memoir 406.23 p .

Warner , J . N . 1952 . A method for estimating heritability . Agron . J . 44: 427-430.

Watts , L . 1980. Flower and vegetable plant breeding - Grower BooKs , London . 182 p .

Way , R . D . 1971 . Hastening the fruiting of apple seedlings . J . Amer . Soc . Hort . Sci . 96:384-389.

Weier. T. E., C . R . Stocking. and M . G . Barbour . 1974. (5th ed) . Botany : an introduction to plant biology . John Wiley & Sons , N . Y . 693 p .

Welsh , J . R . 1981 . Fundamentals of plant genctics and breeding . John Wiley & Sons , N . Y . 290 p .

Westergaard , M . 1958 . The mechanism of sex determination in dioecious flowering plants . Adv . Genet . 9:217-281 .

Wetherell , D . F . 1982 . Introduction to *in vitro* propagation . Avery Pub . Group Inc ., Wayne , N . J . 87 p .

Whittaker , T . W and R . W . Robinson . 1986 . Squash breeding . *In* M . J . Bassett (E d.) "Breeding Vegetable Crops ", PP . 209-242 . Avi Pub . Co ., Inc . Westport , Connecticut .

Whitehouse , H . L . K . 1973 . Towards an understanding of the mechanism of heredity . Edward Arnold (Pub.) Ltd . 528 p .

Wilkins , E . and E . H . Beyer . 1988 . Use of sodium chloride to overcome self-incompatibility in an inbred broccoli (*Brassica oleracea* var . italica) line. (Abstr .) HortScience 23 : 783 p .

Williams , W . 1964 . Genetical principles and plant breeding . Blackwell Scientific Pub, Oxford. 504 p .

Wilsie , C . P . 1962 . Crop adaptation and distribution . W . H . Freeman and Co., San Francisco. 448 p .

Withers . L . A . 1980 . Cryopreservation of plant cell and tissue cultures . In D . S . Ingram and J . P . Helgeson (Eds) "Tissue Culture Methods for Plant Pathologists " , pp . Blackwell Sci, Pub ., Oxford .

Withers , L . A . 1983 . Germplasm storage in plamt biotechnolgy . *In* . S . H . Mantell and H . Smith (Eds) " Plant Biotechnology", pp . 187-218. Cambridge Univ. Pr ., Cambridge.

Withers , L . A . 1985 . Cryptopreservation and storage of germplasm . *In* . R . A . Dixon (Ed.) " Plant cell Culture : a Practical Approach " , pp . 169 - 191 . IRL Pr . , Oxford .

Wittwer . S . H . and S . Honma . 1979 . Greenhouse tomatoes , lettuce and cucumbers . Michigan State Univ . Press , East Lansing . 225 p .

Wooster , P . and T . J . Dixon . 1987 . Micropagation - an aid in the production of new vaieties . *In* G . J . Jellis and D . E. Richardson (Eds) "The Production of New Potato Varieties" , pp. 142 - 145 . Cambridge Univ . Pr ., Cambridge .

Wricke , G . and W . E . Weber . 1986 . Quantitative genetics and selection in plant breeding . Walter de Gruyter , Berlin. 406P .

Yang . H . - J . 1977. Tissue Culture techique developed for asparagus propagation . HortScince 12:140-141 .

Zamir , D . , S . D . Tanksley and R . A . Jones . 1981 . Genetic analysis of the origin of plant regenerated from anther tissues of *Lycopersicon esculentum* Mill . Plant Science Letters 21:223-227 .

Zenkteler , M . 1980 . Intraovarian and *in vitro* pollination . *In* . I . K .

Vasil (Ed.) " Perspective in Plant Cell and Tissue Culture" , pp . 137-156. Acadenic Pr., N . Y .

Zeven . A . C . and A . M . van Harten (Eds) . 1979 . Brodening the genetic base of crops . Centre for Agr . Pub . & Doc ., Wageningen . 347 p .

Zeven , A . C and P . M . Zhukovsky . 1975 . Dictionary of cultivated plants and their centres of diversity . Centre for Agr . Pub & Doc . Wageningen ..219 p .

Zink ,. F . W . 1973 . Inheritance of resitance to downy mildew (*Bremia lactucae* Reg.) in lettuce . J . Amer Soc . Hort . Sci . 98 : 293-296.

رقم الايداع : ٧٣٩٢ / ١٩٩١

مَطابعُ مؤسسَة دار الشعب - للصحافة والطباعة والنشرُ

٩٢ شارع قصر العيني - القاهرة ت : ٣٥٥١٨١٠ - ٣٥٥١٨١٨ - ٣٥٤٣٨٠٠